

## **Лабораторна робота №4**

# **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМАТИЧНИХ ВИМИКАЧІВ**

### **1. Мета роботи**

1. Усвідомлення принципу дії автоматичних вимикачів та їх місця у схемах електропостачання споживачів.
2. Засвоєння основних технічних характеристик автоматичних вимикачів.
3. Дослідження методики контролю параметрів автоматичних вимикачів.
4. Набуття практичних навичок у визначенні електричних параметрів автоматичних вимикачів.

### **2. Загальні відомості**

Правила технічної експлуатації вимагають, щоб у всіх електричних установках на випадок виникнення аварійних режимів були передбачені спеціальні засоби захисту, здатні в найкоротший час ліквідувати аварійні умови у відповідній мережі. Найпоширенішими апаратами, що виконують функції захисту, є автоматичні повітряні вимикачі (автомати). Автомат повинен негайно реагувати на виниклий у мережі ненормальний режим і автоматично відключати ушкоджену ділянку від справної електромережі. Автоматом можна також користуватися для рідких операцій по включенню й відключенню номінальних струмів навантаження.

Автоматичними називають вимикачі, що призначені для вмикання, проведення і вимикання струму в нормальних умовах в електричному колі, а також для вмикання, проведення певного часу та автоматичного вимикання струму в ненормальних умовах у колі, таких як струм короткого замикання і струм перевантаження. Як правило, автоматичні вимикачі використовують для нечастих дій по комутації електричних кіл.

На відміну від контактора, що призначений для відключення тільки струмів навантаження, автомат здатний відключати струми короткого замикання, які в сотні разів перевищують номінальну величину струмів навантаження. Крім того, автомат має вузол елементів захисту, що реагує на зміну режиму мережі й дає сигнал на відключення.

Повітряним автоматичний вимикач називають тому, що гасіння електричної дуги здійснюється в середовищі навколишнього повітря

Найбільш широке поширення одержали універсальні і установочні вимикачі як змінного, так і постійного струму.

Універсальні автомати не мають захисного корпусу і їх, звичайно, встановлюють в приміщеннях розподільних пристроїв низької напруги, куди обмежений доступ сторонніх осіб.

Установочні автомати мають пластмасовий захисний корпус і можуть бути встановлені як у розподільних пристроях, так і в приміщеннях, доступних широкому колу осіб.

Звичайно, власний час спрацьовування автомата залежно від величини номінального струму й конструкції лежить у межах від 0,02 до 0,1 сек. Для забезпечення селективного захисту доводиться використовувати автомати зі спеціальними приставками, що дозволяють робити регулювання часу спрацьовування. Такі автомати одержали назву селективних. На рис. 1. надана узагальнена схема автомата, яка дозволяє легко розібратися в призначенні й дії окремих його вузлів. Автомат призначено для комутації деякого кола струму I. У зазначеному на рисунку положенні автомат відключений і силове електричне коло розімкнуте. Для того щоб включити автомат треба або повернути рукоятку ручного включення 14 по годинній стрілці, або подати напругу на електромагнітний привод 15. У обох випадках створюється зусилля, яке переміщаючи важелі 16 і 17 вправо, буде, повертати основну несучу деталь 20 автомата навколо нерухомої осі по годинній стрілці. Першими замикаються (дугогасні) контакти 21 і через гнучкий зв'язок 4 створюють коло струму. При подальшому русі деталі 20 вправо замикаються головні контакти 3, по яких буде проходити основна ча-

[illegible]

може бути здійснене через механічний зв'язок 12 від кожного із чотирьох розчіплювачів.

Для захисту від перевантажень, автомати обладнують біметалічними розчіплювачами 5. Для подачі напруги на підігрівник розчіплювача 7 у головне коло автомата включено додатковий резистор 6.

Для забезпечення необхідного контактного натискання головні й розривні контакти мають спеціальні пружини 2 і 19. Однак практика показує, що сила натискання цих пружин може виявитися недостатньою для утримання контактів у замкнутому стані при протіканні по них струмів короткого замикання, оскільки в контактах з'являються електродинамічні зусилля, які можуть відірвати контакти один від одного. Розрив контактів зі струмом короткого замикання може привести до утворення електричної дуги й зварюванню контактів. Щоб уникнути самовільного розмикання контактів при протіканні по них струмів короткого замикання застосовують компенсатори електродинамічних зусиль. Найбільше поширення одержали компенсатори, засновані на електродинамічному принципі.

На рис. 1 показано компенсатор петлевого типу. По двох паралельних шинках 1, зв'язаних один з одним загальною віссю  $O_2$ , на ділянці А-В протікають струми різного напрямку. У просторі між провідниками магнітні силові лінії, що створюються протікаючим струмом мають однаковий напрямок. Магнітні силові лінії згущаються й властиві їм сили бічного розпору приводять до того, що з'являється електродинамічна сила, яка впливає на рухому деталь компенсатора у ту ж сторону, що й контактна пружина 2. Результируюча сила здатна протистояти електродинамічній силі відштовхування контактів і запобігти самовільному розмиканню. При протіканні підвищеного, щодо номінальної величини, струму біметалічний елемент вигинається нагору й створює силу, що передається через механічний зв'язок 12 і переводить важелі 16, 17 нагору за мертвою точку. У результаті чого твердий зв'язок між важелями порушується й автомат відключається.

Захист від струмів короткого замикання здійснюється максимальним розчіплювачем 8. Коли по його котушці протікає струм короткого замикання, на якір діє сила, що переводить важелі 16 і 17 нагору за мертву точку, у результаті чого автомат відключається.

Для захисту від зниженої напруги мережі використовують мінімальні розчіплювачі. На котушку такого розчіплювача 10 подається напруга захищеної мережі. При нормальній напрузі електромагнітна сила утримує осердя котушки розчіплювача в притягнутому стані у нижньому положенні. При зниженні напруги у мережі сила, що розвивається електромагнітною системою розчіплювача, буде вже не достатньою для протидії зворотній пружині. Рухома система розчіплювача 12 переходить у верхнє положення, переводячи важелі 16, 17 за мертву точку, і тим самим відключає автомат.

Для дистанційного відключення автомата від кнопки управління КУ служить незалежний розчіплювач 11, дія якого аналогічно дії електромагнітного розчіплювача.

При відключенні автомата спочатку розмикаються головні контакти 3 і весь струм переходить у паралельне коло розривних контактів 21. таким чином, при розмиканні головних контактів дуга на них не утвориться й вони не піддаються обгоранню.

Коли головні контакти розходяться на досить великій відстані розмикаються розривні (дугогасні) контакти 21. На них виникає електрична дуга, що вивуається в дугогасну камеру 22 і гаситься там. Оскільки розривні контакти призначені для гасіння дуги, їх виготовляють з матеріалу, здатного протистояти її впливу.

У реальних автоматах система важелів 16, 17 має більше складний устрій, чим на представленій схемі. Механізм вільного розчіплювання дозволяє автомату відключатися в будь-який момент часу, у тому числі й у момент включення, коли кожний із розглянутих розчіплювачів здійснює вплив на рухоому систему автомата. Це забезпечується тим, що в цьому, випадку важелі 16,17 зміщується вгору за мертву точку й твердий зв'язок між приводною сис-

темою 14, 15 і рухомою системою автомата 20 порушується. Автомат негайно вимикається за рахунок дії зворотної пружини 18, незалежно від впливу включаючої сили приводної системи автомата.

Механізм вільного розчіплювання дозволяє також запобігти можливості «плигання» автомата при включенні його на коротке замикання. Дійсно, при включенні автомата в цьому випадку відбудеться спрацювання максимального розчіплювача. Система важелів 16, 17 вийде за мертву точку. Автомат відключиться й більше не зможе ввімкнутися, тому що механічний зв'язок між приводом і рухомою системою автомата буде порушеним. При відсутності механізму вільного розчіплювання після автоматичного відключення пішло б повторне включення під впливом включаємої сили приводу. Відбулися б наступні один за одним багаторазові відключення й включення автомата у важкому режимі короткого замикання, що привело б до його руйнування автомата.

Одним з відповідальних вузлів автомата є струмоведуче коло, оскільки режим тривалого протікання номінального струму є для нього нормальним. З іншої сторони струмоведуча система автомата піддається впливу великих електродинамічних навантажень при протіканні струмів короткого замикання. В той же час автомат повинен забезпечувати багаторазове відключення таких струмів і після відключення повинен бути придатним для тривалого пропускання номінального струму навантаження. Варто додати, що для одержання малого власного часу спрацювання вага рухомих частин струмоведучого кола повинна бути мінімально можливою.

При номінальних струмах до 200 А застосовують одну пару контактів, які для збільшення дугостійкості облицьовують металокерамікою. Більші номінальні струми вимагають застосування двоступінчастого контакту типу мосту, що перекочується, або пари головних, і дугогасних контактів.

Дугогасильна система автомата повинна забезпечувати надійне гасіння дуги при всіх можливих режимах роботи мережі. В установочних і універсальних автоматах частіше, усього використовують напівзакрите виконання, при якому автомат закритий кожухом з отворами для виходу гарячих газів. Обсяг

кожуха робиться досить велика, щоб уникнути появи всередині кожуха надлишкового тиску. Широке поширення в цих автоматів одержали деіонна дугогасні ґрати зі сталевих пластин. У цьому випадку гасіння дуги відбувається спокійно з мінімальним викидом іонізованих і нагрітих газів з дугогасного пристрою.

При більших струмах застосовують лабиринтно-щілинні камери й камери із прямою поздовжньою щілиною. Втягування дуги в щілину здійснюється за рахунок серієсного магнітного дуття.

Для здійснення операцій по включенню апарата застосовують ручні приводи безпосередньої дії й електромеханічні дистанційні приводи. Ручні приводи застосовуються при струмах до 200 А. При більших струмах використовують електромеханічні приводи, що забезпечують необхідну швидкість наростання тиску в контактах. Як електромеханічні приводи знайшли поширення електромагнітні й електродвигунні. Необхідна для відключення енергія в цьому випадку накопичується в заведеній приводом пружині. Після команди на відключення звільняється утримуюча засувка й автомат відключається.

Недоліком електромагнітного привода є велика швидкість руху й удари в механізмі. Перевагою електродвигунного привода є плавний хід механізму й відсутність ударів, однак потужність, споживана електродвигуном, більша, ніж потужність, необхідна для взведення пружини.

Одним з найважливіших вузлів будь-якого автомата є механізм вільного розчіплювання. Цей механізм передає рух від привода до контактів, утримує контакти у включеному положенні робить звільнення контактів.

При відключенні автомата механізм фіксує контакти в положенні «ВІДКЛЮЧЕНО», підготовляє автомат до нового включення, унеможливорює утримування контактів у включеному положенні при наявності ненормального режиму у захищеному колі. Звичайно механізм являє собою систему шарнирно-зв'язаних важелів, що з'єднують привод включення із системою рухомих контактів, які зв'язані із відключаючою пружиною. Конструкції механізмів вільного розчіплювання досить різноманітні, однак дія їх подібно представлено-му на рис.1. Слід зазначити, що вимикаючі контактні пружини в автоматичних

вимикачах розвивають зусилля в десятки, сотні й навіть тисячу кілограмів, а система важелів механізму вільного розчіплювання будується так, що для розчіплювання досить зусилля в десятки максимум у сотні грамів. Це дозволяє конструювати ці механізми легкими й високої чутливості.

Самі розчіплювачі являють собою елемент, що контролює величину відповідного параметра захисту мережі і дають сигнал на відключення автомата, коли ця величина досягне заданого уставкою значення. Можливість регулювати уставку розчіплювача дозволяє здійснювати селективний захист мережі.

Залежно від виконуваних функцій захисту розчіплювачі бувають:

- максимального струму, миттєвої або вповільненої дії (останній використовують як розчіплювач перевантаження або як селективний);
- мінімальні, для відключення автомата при зниженні напруги нижче певного рівня;
- відключаючі, для дистанційного відключення автомата, що спрацьовує при подачі на нього напруги;
- зворотного струму, що спрацьовують при зміні напрямку струму;
- теплові, що спрацьовують в залежності від величини струму і часу його протікання, які застосовують зазвичай, для захисту від перевантаження;
- комбіновані, що спрацьовують при поєднанні низки факторів.

Нижче розглянуті особливості конструкцій деяких вимикачів та методики контролю їх технічних характеристик.

### **3. Методики контролю електричних характеристик автоматичних вимикачів**

#### **3.1. Перевірка стану ізоляції**

У всіх електричних апаратах напругою до 1000 В необхідно перевіряти стан ізоляції. При цьому опір ізоляції вимірюють за допомогою мегомметрів з номінальною напругою 1000 В. Електричну міцність перевіряють випробуванням ізоляції підвищеною напругою змінного струму величиною 1000В трива-



лістю одну хвилину.

Вимір опору ізоляції і випробування її підвищеною напругою треба проводити після попередньої підготовки устаткування. Як правило, одночасно випробують ізоляцію цілих приєднань, тобто групи електрично зв'язаних апаратів спільно з їх колами. Опір одного приєднання має бути не менше за 1 МОм. При більш низькому опорі випробувані кола роз'єднують на більш дрібні групи і вимірюють опір у кожній з них окремо аж до відшукування елемента зі зниженим опором.

Перед випробуванням ті елементи електроустаткування, які не розраховані на величину випробувальної напруги відключають. При необхідності ці апарати випробують окремо відповідно до заводських інструкцій з їх експлуатації.

Опір ізоляції апаратів із номінальною напругою 24 і 48 В вимірюють мегомметром з номінальною напругою не більше 250 В. Опір ізоляції блоків з напівпровідниковими елементами вимірюють мегомметром на 100 В, при цьому діоди, транзистори та аналогічні елементи мають бути зашунтовані.

При виявленні в пристроях елементів зі зниженим опором ізоляції, наприклад, у котушок контакторів, такі елементи заміняють. При зволоженні ізоляції застосовують сушіння гарячим повітрям або підігрівом за рахунок пропускання по обмотці струму допустимої величини.

При відсутності випробувальної установки випробування ізоляції підвищеною напругою допускається проводити мегаомметром з номінальною напругою 2500 В протягом 1 хвилини.

### **3.2. Вимір опору обмоток постійному струму**

Вимірювання опору обмоток електричних апаратів постійному струму проводять при введенні його в експлуатацію. Після вимірів результати порівнюють з даними, наведеними в технічних паспортах на відповідне устаткування. При цьому відхилення від номінальних даних не повинно перевищувати 10%. Вимір опору виконують також при відсутності на котушках маркування,

при невідповідності зазначеної на них напруги проектній величині і т.п. Вимірювання здійснюють методом амперметра-вольтметра або за допомогою мікроомметрів та мостів.

### 3.3. Перевірка контактної системи

Зазори вимірюють при розімкнутих контактах за допомогою щупів, шаблонів, лінійок і нутромірів. Найбільш зручно користуватися спеціально виготовленими шаблонами. Шаблони являють собою брускочки прямокутного перерізу з ізоляційного матеріалу чи металу, в яких товщина одного з кінців відповідає мінімально допустимому зазору в контактах, а другого - максимально допустимому. Перший кінець шаблона повинен вільно проходити між контактами, а другий не проходити зовсім або входити в зазор між контактами з деяким зусиллям.

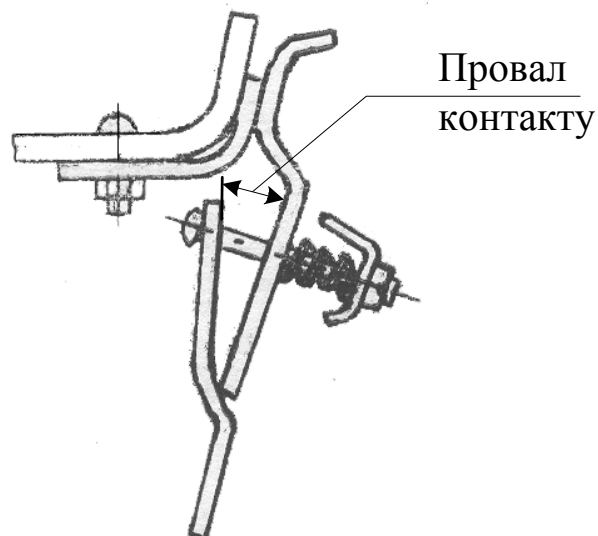


Рис. 2 – Визначення провалу контактів

Провал контактів у залежності від їх конструкції визначають безпосередньо або побічно виміром зазору до упору рухомого контакту (рис.2) і оцінкою можливого ходу контакту.

Початкове натиснення контакту визначають в такий спосіб. Між рухо- мим контактом і його упором закладають смужку цигаркового паперу на конта-

кті відзначають місце початкового зіткнення і на рухомий контакт надягають петлю з кіперної стрічки. Петлю зачіпляють пружинним динамометром і відтягують у напрямку, перпендикулярному до поверхні контактів у місці початкового зіткнення доти, поки можна буде пересунути папір, затиснутий між контактом і упором. Показання динамометра в цей момент відповідає початковому натисненню контакту.

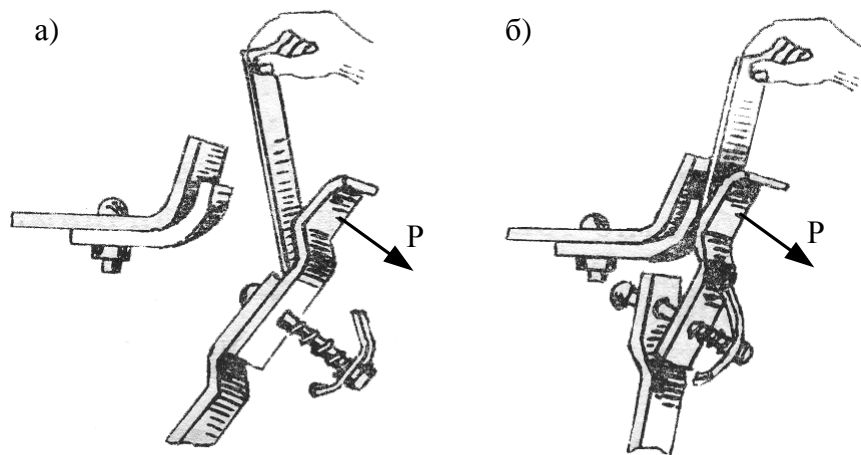


Рис.3 – Визначення початкового і кінцевого натиснення контактів

Кінцеве натиснення вимірюють при замкнених контактах в такий же спосіб, але папір при цьому закладають між самими контактами (рис.3,б).

### 3.4. Визначення параметрів спрацьовування

Визначення параметрів спрацьовування електромагнітних апаратів проводять після їх остаточного регулювання, виміру натиснення, зазору і провалу контактів, а також виміру опору обмоток постійному струму в холодному стані апарата. Схема виміру на змінному струмі показана на рис. 4.

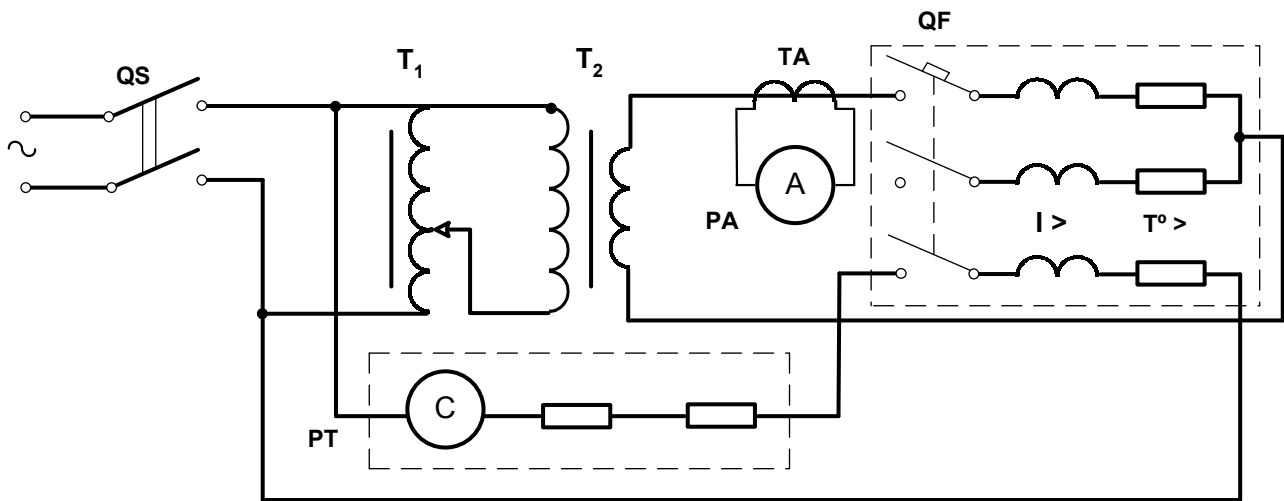


Рис. 4 – Схема виміру параметрів спрацьовування

Слід підкреслити, що звичайно величини напруги спрацьовування апаратів, зазначені в паспортах, відповідають їх нагрітому стану. Виміри ж в умовах експлуатації проводять, як правило, на холодному апараті, тому що попередній прогрів котушок потребує значних витрат часу. Крім того, дійсну температуру нагрітої котушки важко контролювати в процесі вимірів, тому в отримане значення напруги спрацьовування треба внести відповідну поправку, яку знаходять за формулою

$$\Delta U = U_{\text{наг}} - U_{\text{хол}} = U_{\text{хол}} \left( \frac{235 + \vartheta_{\text{наг}}}{235 + \vartheta_{\text{хол}}} - 1 \right),$$

де  $U_{\text{нат}}$  – напруга спрацьовування апарата у нагрітому стані ;

$U_{\text{хол}}$  – напруга спрацьовування апарата у холодному стані ;

$\vartheta_{\text{наг}}, \vartheta_{\text{хол}}$  – температури апаратів в нагрітому і холодному стані відповідно.

Величину  $\vartheta_{\text{хол}}$  приймають рівною температурі навколишнього середовища, яку визначають як середнє арифметичне показань декількох термометрів, розташованих у радіусі 1 - 2 м від апарата. Температуру  $\vartheta_{\text{наг}}$  приймають рівною 70°C.

Для апаратів постійного струму напругу і струм спрацьовування визначають двічі при різних полярностях напруги на котушці, якщо не передбачена

робота апарата при визначеній полярності.

Час спрацьовування електромагнітних апаратів встановлюють за допомогою електричних секундомірів за типовими схемами.

#### **4. Особливості контролю електричних параметрів окремих видів автоматичних вимикачів**

##### **4.1. Автоматичні вимикачі типу А-3100**

В обсяг перевірок автоматичних вимикачів типу А-3100 входять перевірки всіх розчіплювачів і стану ізоляції.

Уставки розчіплювачів вимикачів серії А-3100 в умовах експлуатації не регулюються. Більше того, після калібрування на заводі-виготівнику кришки розчіплювачів опечатують. Для оцінки придатності вимикачів до подальшої експлуатації перевіряють тільки відповідність їх фактичних уставок паспортним даним.

Початкові струми спрацьовування розчіплювачів (при температурі навколишнього середовища  $+25^{\circ}\text{C}$ ), а також необхідний час остигання теплового елемента при перевірках визначені паспортними даними автомата.

Випробування теплових розчіплювачів передбачають:

1) перевірку спрацьовування вимикача при полюсному навантаженні струмом, рівним дво- або триразовому номінальному струму розчіплювача;

2) перевірку характеристик теплових елементів при одночасному навантаженні всіх полюсів дво- або триразовим (у залежності від типу автомата) струмом. Як джерело змінного струму використовують навантажувальні трансформатори та інші пристрої, що забезпечують необхідну величину струму. Час спрацьовування повинен знаходитися в межах, зазначених у паспорті на вимикач. Якщо температура повітря при випробуваннях відрізняється від  $25^{\circ}\text{C}$ , то випробувальний струм для відповідної температури беруть з табл. Д 2.

Час спрацювання вимикача після подачі випробувального струму вимірюють секундоміром типа СМ-60. У справних вимикачів він має знаходитися у

межах, зазначених у табл. Д .1. Якщо час спрацювання виходить за межі, вказані в табл. Д 1., розчіплювач перевіряють за початковою величиною струму спрацювання.

3) вимір початкового струму спрацювання у вимикачів, час спрацювання яких не збігається з даними паспортів. Початковий струм спрацювання для вимикачів типу А-3160 дорівнює 1,35, а для інших – 1,45 номінального значення струму розчіплювача. Вимикач має спрацювати протягом 2 год. для А-3160 і протягом 1 год. для інших вимикачів. При навантаженні одного полюса автомата початковий струм спрацювання збільшують приблизно на 25 – 30 % у порівнянні з початковим струмом спрацювання при навантаженні всіх трьох полюсів автомата.

Повторна перевірка вимикача після спрацювання можлива тільки через 2,5 хв для вимикачів типу А-3120, через 3 хв. - для А-3130, через 4 хв. - для А-3140, і через 1 хв. - для А-3110 і А-3160.

Електромагнітні розчіплювачі перевіряють для кожного полюса окремо. При цьому спочатку на полюс подають струм, величина якого на 15% нижче струму уставки (для вимикача типу А-3110 цей струм має бути нижче струму уставки на 30%). При такому значенні струму вимикач не повинен відключатися. Потім випробувальний струм декілька разів підвищують аж до відключення автомата. Струм спрацювання у справного вимикача не повинен перевищувати струм уставки більше ніж на 15% (у автоматів А-3110 – більше ніж на 30%).

Електромагнітні елементи комбінованих розчіплювачів, відповідно до рекомендацій заводу-виготовника, перевіряють у такому порядку. До навантажувального пристрою підключають еквівалентний опір, рівний повному опору кола вимикача. Регулюючим пристроєм встановлюють струм на 30% нижче уставки для вимикачів типу А-3110 і на 15% нижче для інших вимикачів. Не змінюючи значення встановленого струму від навантажувального пристрою, відключають еквівалентний опір і замість нього по черзі підключають всі три полюси вимикача. При справних розчіплювачах вимикач не повинен відключа-

тися.

Після цього еквівалентний опір знову приєднують до навантажувального пристрою і встановлюють струм, значення якого на 30% вище струму уставки для вимикача типу А-3110 і на 15% вище для інших. Потім, не змінюючи встановленого значення струму, еквівалентний опір відключають і на його місце підключають по черзі усі полюси автомата. В усіх випадках підключення вимикач має відключитися.

Щоб переконатися, що відключення відбулося від електромагнітних розчіплювачів, необхідно одразу після відключення спробувати включити вимикач. Якщо вмикання пройшло нормально, значить він був відключений електромагнітним розчіплювачем, а в протилежному випадку - тепловим.

Дистанційний розчіплювач перевіряють за надійним і чітким відключенням вимикача при подачі на його обмотку керуючої напруги, рівної 75 і 105 відсотків від номінального значення.

#### **. 4.2. Автоматичні вимикачі типу АП-50.**

Перевірку теплових розчіплювачів вимикачів АП-50 виконують одночасно для усіх трьох полюсів. При навантаженні одного полюсу величина струму спрацювання підвищується приблизно на 25-30% у порівнянні зі струмом спрацювання при навантаженні усіх полюсів вимикача. При цьому вимикачі повинні:

- а) при струмі 1,1 номінального струму розчіплювача не спрацьовувати протягом 1 год.;
- б) при струмі 1,35 номінального струму розчіплювача спрацьовувати за час не більше 30 хв.;
- в) при струмі, що в 6 раз перевищує номінальну величину, спрацьовувати протягом 1,5 – 10 с..

Повторні включення вимикача після відключення його тепловим елементом дозволяється проводити не раніше, ніж через 2 хв.

Перевірку електромагнітних розчіплювачів у вимикачів, що не мають теплових розчіплювачів, виконують включенням кожного полюса на навантажувальний пристрій. Величину випробувального струму встановлюють на 15% нижче струму уставки. При цьому автомат не повинен вимикатися. Потім випробувальний струм піднімають до струму спрацювання. При цьому цей струм не повинен перевищувати струм уставки більш ніж на 15%.

Перевірку електромагнітних розчіплювачів вимикачів типу АП-50 проводять для кожного з полюсів окремо і виконують у такий спосіб:

- навантажувальний струм від випробувального пристрою встановлюють на еквівалентному опорі, що дорівнює опорі одного полюса вимикача (тепловий, електромагнітний розчіплювачі, контакти вимикача);
- не змінюючи величини випробувального струму, переключають коло з еквівалентного опорі почергово на кожний з полюсів вимикача, який випробують;
- при струмі нижче струму уставки на 15% вимикач не повинен спрацювати;
- при струмі більше струму уставки на 15% - має відбутися чітке вимикання від електромагнітного елемента.

Струм спрацювання електромагнітних розчіплювачів автоматичних вимикачів типу АП-50 наведено у табл. Д 6.

Щоб впевнитись, що вимикання відбулося від електромагнітного, а не теплового розчіплювача, необхідно після кожного відключення вимикача миттєво його включити. Якщо вимикач включається нормально, то вимикання відбулося від електромагнітного елемента. У випадку спрацювання теплового елемента розчіплювача – повторно вимикач не включиться.

#### **4.3. Автоматичні вимикачі типу А-3700**

Перевірка максимальних теплових розчіплювачів вимикачів типу А-3700.



Перевірку проводять випробувальним струмом, рівним триразовому номінальному струму розчіплювача, почерговим провантаженням усіх полюсів вимикача.

Порядок виконання перевірки аналогічний порядку, наведеному для вимикачів типу А-3100.

Струми при температурах, відмінних від 40<sup>0</sup>С, наведені в табл. Д 4 і Д 5. Час спрацьовування вимикача має відповідати межам, зазначеним у табл. Д 3.

### ***Перевірка максимальних електромагнітних розчіплювачів вимикачів типу А-3700***

Перевірку електромагнітних розчіплювачів у вимикачах, що не мають теплових елементів, проводять аналогічно перевірці вимикачів типу А-3100. Допустимі відхилення струмів спрацьовування наведені в технічних описах (паспортах) автоматичних вимикачів типу А-3700.

Перевірку електромагнітних розчіплювачів, з'єднаних послідовно з тепловими елементами, проводять аналогічно з перевіркою таких розчеплювачів у вимикачах типу А-3100.

Контактна система автоматичних вимикачів типу А-3700 складається з рухомих контактів і контактів струмообмежуючого або компенсаційного пристрою. Струмообмежувачі пристрої забезпечують швидке розмикання контактів при проходженні через них струмів короткого замикання незалежно від дії розчіплювачів максимального струму і механізму вільного розчіплювання.

Селективні вимикачі постачають з компенсаційними пристроями, які призначені для компенсації електродинамічних сил, що відкидають контакти. Цей пристрій надійно притискує рухомий контакт до нерухомого при протіканні по них струму короткого замикання протягом заданого часу.

Напівпровідникові розчіплювачі дозволяють регулювати уставку струму в зоні короткого замикання, час спрацьовування в зоні короткого замикання і в

зоні перевантаження. Струмочасові характеристики вимикачів з напівпровідниковими розчіплювачами наводяться у паспортах на відповідні апарати.

Настроювання напівпровідникового розчіплювача проводять подачею в блок керування розчіплювача напруги, рівної 0,8 - 1,15 номінального значення, з наступним пропусканням через полюси вимикача струму, рівного  $1,25 I_{ном}$ . Обертанням ручки « $I_{ном}$  струм» у бік зменшення або збільшення домагаються такого її положення, в якому при струмі  $1,2 I_{ном}$  вимикач протягом 800 с не спрацьовує, а при струмі  $1,3 I_{ном}$  контакти розмикаються за час не більше 800 с.

Зняття характеристики витримки часу в зоні перевантаження проводять в такий спосіб. Ручку «Секундне перевантаження» встановлюють в середнє положення, вимикач включають і через його полюси пропускають струм, рівний  $5 I_{ном}$ . Час вимірюють з моменту подачі струму до моменту спрацьовування вимикача. Вимірювані значення часу і струму повинні бути в межах часострумової характеристики. Змінюючи кратність струму стосовно номінального, одержують повну характеристику часу спрацьовування вимикача і встановлюють задану уставку за часом у зоні перевантаження.

Перевірку уставки струму спрацьовування проводять у такий спосіб. Ручку  $I / I_{ном}$  «Коротке замикання» встановлюють на кратність спрацьовування, близьку до заданої, і подають струм на головні контакти вимикача. Обертанням ручки  $I / I_{ном}$  «Коротке замикання» домагаються відключення вимикача. Цю операцію треба проводити швидко, тому що тримати вимикач під струмом, рівним 5 - 6  $I_{ном}$ , дозволяється не більше 20 с з наступною перервою не менше 20 хвилин. Розкид значень струму спрацьовування в зоні короткого замикання може знаходитися в межах від 0,9 до 1,1 від заданої уставки при протіканні струму одночасно по двох полюсах вимикача і від 0,8 до 1,2 – при протіканні струму по одному або трьох полюсах.

Уставку витримки часу спрацьовування в зоні короткого замикання визначають методом послідовного наближення при пропусканні через полюси вимикача такого струму, величина якого перевищує значення уставки в зоні ко-

роткого замикання на 20 - 25%. Розкид часу спрацьовування має бути не більше 10% від заданого значення часу спрацьовування вимикача.

Перевірку уставок виконують на вертикально встановленому вимикачі. Розкид струмів спрацьовування електромагнітних і напівпровідникових розчіплювачів має бути в межах 5% струмів уставки. Для пропускання через полюси вимикача струму необхідної величини можна використовувати навантажувальні пристрої як постійного, так і змінного струму. Перевірку значення струму уставки струмообмежуючого вимикача виконаного з напівпровідниковим розчіплювачем проводять при знятому блоку керування і закорочених вимірювальних елементах.

При випробуванні дистанційного привода перевіряють час вмикання і вимикання вимикача при номінальній напрузі в колах оперативного струму. Час вмикання і вимикання має бути не більше 0,3 с. Дистанційний привод повинен надійно здійснювати увімкнення і вимкнення, а також автоматичний звід вимикача при напрузі на затискачах від 0,85 до 1,1 його номінального значення. Увімкнення і вимкнення дистанційним приводом здійснюють не менше 3 разів підряд з інтервалом між циклами 5с. Привод вважається витримавшим випробування, якщо він спрацьовує чітко, без заїдань і зупинок у проміжних положеннях.

Перевірка розчіплювача мінімальної напруги полягає в забезпеченні надійного відключення вимикача без витримки часу при напрузі на котушці нижче 0,2 її номінального значення при постійному струмі і нижче 0,3 її номінального значення при змінному струму. Вимикач не повинен вимикатися при напрузі на котушці, рівній 0,55 її номінального значення, і не повинен перешкоджати увімкненню при напрузі з котушці, рівній 0,85 номінального значення.

#### **4.4. Автоматичні вимикачі типу АК-50**

Автоматичні вимикачі типу АК-50 випускають з уставками струму відсічки на п'яти, семи- і десятикратний струм номінального значення. Розчіплювач максимального струму має магнітну систему соленоїдного типу. Залежна

характеристика в зоні перевантаження формується за допомогою гідравлічного плунжера. Вимикачі цієї серії розраховані для роботи без регулювання уставок розчіплювача в умовах експлуатації. Контроль технічного стану зводиться до перевірки відповідності струмочасових характеристик паспортним даним і перевірки стану контактної системи.

При навантаженні вимикача струмом, рівним  $1,1 I_{ном}$ , він не повинен спрацьовувати протягом 1 години. При струмі, рівному  $1,35 I_{ном}$ , вимикач повинен спрацьовувати протягом 30 хвилин. При струмі  $6 I_{ном}$  автомат має спрацьовувати протягом від 3 до 20 с. При струмі, рівному струму відсічки, автомат повинен відключитися за час не більше 0,04 с.

Перевірку контактної системи проводять візуально і виміром опору методом амперметра-вольтметра або мікроомметром. При невідповідності величини опору даним, зазначеним у паспорті, автомат замінюють на новий

## 5. Програма роботи

1. Вивчити принцип дії і технічні характеристики автомата, зафіксувати паспортні дані запропонованого автомата.

2. Провести зовнішній огляд вимикача, визначити стан його контактної механізми.

3. Визначити опір ізоляції струмоведучих частин вимикача.

4. Визначити електричні характеристики вимикача:

- 1) Розчіплювача з залежною характеристикою (теплового чи напівпровідникового).
- 2) Електромагнітного максимального розчіплювача.
- 3) Електромагнітного розчіплювача дистанційного керування.
- 4) Побудувати часострумову характеристику автомата.
- 5) Скласти протокол випробувань за наданою формою.

5. Провести випробування функціонування автомата на заданих уставках розчіплювачів.

6. Оформити звіт по лабораторній роботі.

## **6. Зміст звіту**

Зміст звіту по роботі має відповідати наведеній у додатку формі і містити в собі мету роботи та її зміст з поясненнями до кожного з пунктів програми роботи. Текст звіту треба супроводжувати необхідними схемами, ескізами, рисунками, які пояснюють принцип дії вимикачів, дають стислу характеристику методів контролю основних технічних характеристик автоматичних вимикачів. У звіті можуть бути наведені також відповіді на поставлені контролі запитання.

## **7. Контрольні запитання**

1. Назвіть найбільш розповсюдженні розчіплювачі автоматичних вимикачів.
2. Що розуміють під терміном “електродинамічна стійкість автоматичних вимикачів” та чим її характеризують?
3. Якщо в каталогах не приведені данні про електродинамічну стійкість, яким параметром слід керуватися при виборі вимикача?
4. Що розуміють під терміном “гранична комутаційна властивість вимикача”?
5. Що називають номінальним струмом розчіплювача автоматичного вимикача?
6. Який струм розчіплювача називають струмом його уставки?
7. Що розуміють під повним часом вимикання вимикача?
8. У яких випадках використовують технічний параметр автоматичного вимикача “повний час відключення”?
9. Чому в автоматичних вимикачах дуже рідко використовують тільки тепловий розчіплювач?

10. Наведіть форму часострумової характеристики автоматичного вимикача з комбінованим розчіплювачем.
11. Наведіть головну умову успішного погашення електричної дуги при відключенні вимикача.
12. Чому у вимикачах передбачено дві пари контактів на кожному полюсі?
13. Назвіть основні елементи дугогасного пристрою вимикача.
14. За рахунок чого у вимикачах забезпечується зносостійкість контактів?
15. З якого матеріалу виготовляють дугогасну камеру вимикача?
16. З якою метою у вимикачах передбачено механізм вільного розчіплювання?
17. Який елемент вимикача забезпечує захист мережі від перенавантаження?
18. Наведіть схему вимірювання параметрів спрацювання вимикачів.
19. Яким чином можна впевнитись, що вимикання вимикача здійснено за рахунок розчіплювача із залежною характеристикою?
20. Якої величини має бути струм при перевірці дії теплових розчіплювачів?

## ПРОТОКОЛ

ВИПРОБУВАНЬ АВТОМАТИЧНОГО ПОВІТРЯНОГО ВИМИКАЧА  
/АВТОМАТА/ типу \_\_\_\_\_

на \_\_\_\_\_ А, \_\_\_\_\_ В, сек \_\_\_\_\_ с.  
максимальними розчіплювачами з \_\_\_\_\_ приводом,  
місце установки \_\_\_\_\_  
(підприємство, адреса)

### Засоби вимірів і випробувань

Найменування	Тип	Зав. №	Метрологічні характеристики

### І. Опір ізоляції автомата і його котушок

Найменування елементів автомата	Опір ізоляції МОм					
	між фазами			між фазами і землею		
	ЖЗ	ЖК	ЗК	Ж	З	К

2. Мінімальна напруга спрацювання електромагніта, що відключає, \_\_\_\_\_ В, що складає \_\_\_\_\_ % від номінальної напруги.

### 3. Перевірка дії розчіплювача

Найменування розчіплювача	Напруга спрацювання, В	Струм спрацювання, А	Струм уставки, А	Струм спрацювання, А

4 Проведено перевірку дистанційного керування автомата шляхом включень при напрузі оперативного струму 1,15 від номінального \_\_\_\_\_ 0,9 номінального \_\_\_\_\_ включень при 0,8 номінального.

ВИСНОВОК \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Випробування проводили : \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Таблиця Д 1 – Час спрацьовування теплових розчіплювачів автоматичних ви-  
микачів типу А-3100 при навантаженні всіх полюсів одночасно триразовим (для  
А-3100, А-3160 – дворазовим) номінальним струмом

Тип ви- микача	Номінальний струм розчіплю- вача, А	Випробувальний струм при темпера- турі +25°C, А	Час спрацьо- вування, с	Максимально допустимий час випробувань струмом, с
1	2	3	4	5
А 3110	15	30	19-27	50
	20	40	27-37	70
	25	50	35-45	90
	30	60	55-65	130
	40	80	50-80	160
	50	100	80-100	200
	60	120	70-90	180
	70	140	75-95	190
	85	170	110-140	240
А3160	100	200	100-150	240
	15	30	15-20	40
	20	40	18-23	45
	25	50	18-27	50
	30	60	28-35	70
	40	80	35-45	90
	50	100	58-78	150
А3120	15	45	18-22	45
	20	60	18-22	45
	25	75	24-30	60
	30	90	28-38	70
	40	120	40-50	100
	50	150	50-60	120
	60	180	50-60	120
	80	240	70-60	160
	100	300	60-70	140



1	2	3	4	5
A 3130	120	360	65-75	150
	140	400	65-75	150.
	170	510	68-78	150
	200	600	78-88	170
	250	750	60-70	140
A 3140	300	300	65-75	150
	350	1050	65-75	150
	400	1200	50-60	120
	500	1500	50-60	120
	600	1800	65-75	150

Таблиця Д 2 – Величини струму перевірки теплових розчіплювачів автоматичних вимикачів серії А 3100 при різних температурах навколишнього середовища

Виконання вимикача	Ном. струм розчіплювача А	Випробувальний струм, А при температурі навколишнього середовища, °С									Примітка
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3110	15	37	35	34	33	32	30	29	27	25	
	20	48	46	44	43	42	40	38	37	35	
	25	59	57	55	54	52	50	48	47	45	
	30	74	71	68	66	63	60	57	54	50	
	40	96	91	89	86	83	80	77	74	70	
	50	114	111	109	106	103	100	97	90	90	
	60	137	133	131	127	124	120	119	113	109	
	70	157	154	151	150	144	140	136	138	129	
	85	190	187	187	182	174	170	166	162	156	
	100	228	224	218	212	206	200	194	187	180	
3160	15	34	33	32	32	31	30	29	29	28	
	20	45	44	43	42	41	40	39	39	37	
	25	57	56	54	53	51	50	49	47	46	
	30	67	66	64	63	62	60	59	57	55	
	40	90	88	86	84	82	80	78	76	74	
	50	114	112	109	106	103	100	97	94	91	
3120	15	50	50	49	48	46	45	44	43	41	
	20	67	66	65	64	62	60	59	57	55	
	25	84	83	81	80	77	75	73	71	69	
	30	101	99	97	96	92	90	88	85	83	
	40	134	132	130	128	123	120	117	114	110	
	50	168	165	162	161	154	150	146	143	138	
	60	202	198	194	193	184	180	176	171	166	
	80	269	264	259	257	246	240	234	228	221	
	100	336	330	324	321	306	300	293	280	276	

Продовження табл. Д 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3130	120	403	396	389	385	369	360	351	342	331	
	140	467	462	454	449	431	420	410	399	386	
	170	571	561	551	546	523	510	497	485	469	
	200	572	660	648	642	615	600	585	570	552	
	250	840	825	810	803	796	750	731	713	690	
3140	300	1002	990	972	963	923	900	878	858	828	
	350	1176	1155	1134	1124	1076	1050	1024	978	966	
	400	1344	1310	1296	1284	1230	1200	1170	1140	1104	
	500	1680	1651	1620	1605	1538	1500	1463	1425	1380	
	600	2016	1080	1944	1926	1845	1800	1755	1710	1656	

Таблиця Д 3 – Час спрацювання теплових розчіплювачів автоматичних вимикачів серії А-3700 при навантаженні кожного полюса триразовим номінальним струмом.

Струм вимикача	Номінальний струм, А	Випробувальний струм при температурі +40 <sup>0</sup> С	Час спрацювання, с	Максимально допустимий час випробувань під струмом, с
А-3710	16	48	22-25	70
	20	60	44-51	100
	25	75	61-68	140
	32	96	50-58.	130
	40	120	37-48	100
	50	150	49-54	100
	63	189	38-45	100
	30	240	31-38	70
	100	300	50-75	130
	125	375	32-39	70
	160	400	69-75	130
А-3720	160	480	50-57	130
	200	600	45-57	130
	250	750	55-73	130
А-3730	200	750	23-28	100
	250	960	30-35	100
А-3740	400	1200	50-55	100
	500	1500	65-75	190
	630	1890	66-75	190

Таблиця Д 4 – Величини струму перевірки теплових розчіплювачів автоматичних вимикачів серії А3710 при різних температурах навколишнього середовища.

Температура навколишнього середовища, °С	Випробувальний струм вимикача при номінальному струмі теплового розчіплювача, А										
	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160
10	54	67	84	110	141	175	212	269	339	424	538
12	63	67	83	100	139	174	210	267	337	421	534
14	53	66	83	108	138	172	209	265	334	418	530
16	53	66^	82	107	137	171	207	263	332	415	527
18	52	65	82	106	135	169	206	261	329	411	523
20	52	65	81	105	134	167	204	259	327	408'	519'
22	51	64	80	104	132	166	203	257	324	405	515
24	51	64	80	103	131	164	201	255	321	402	511
26	51	63	79	103	130	162	199	253	319	398	507
28	50	63	78	102	128	160	198	252	315	395	504
30	50	62	78	100	127	159	196	250	313	392	500
32	49	62	77	100	126	157	195	248	311	389	495
34	49	61	76	99	124	155	193	246	308	385	492
36	46	61	76	98	123	153	192	244	305	381	438
38	48	60	75	97	121	151	190	242	302	378	483
40	48	60	76	96	120	150	189	240	300	375	400

Таблиця Д 5 – Величини струму перевірки теплових розчіплювачів автоматичних вимикачів серії А 3720, А 3730, А 3740 при різних температурах навколишнього середовища

Температура навколишнього середовища, °С	Випробувальний струм теплового розчіплювача							
	при його номінальному струмі, А							
	А-3700			А-3730 і А-3740				
	160	200	250	250	320	400	500	630
10	536	679	849	856	1106	1376	1698	2141
12	532	675	843	849	1097	1366	1686	2120
14	529	669	837	843	1087	1355	1674	2109
16	525	664	831	836	1078	1344	1658	2080
18	521	659	824	829	1068	1332	1647	2075
20	518	654	818	822	1058	1320	1631	2055
22	514	649	811	815	1050	1308	1619	2039
24	510	543	984	807	1039	1296	1604	2019
26	506	638	797	800	1030	1286	1592	2005
28	503	633	791	793	1020	1275	1582	1994
30	499	627	784	787	1011	1861	1571	1979
32	495	622	777	780	1000	1248	1556	1960
34	491	616	771	772	991	1246	1541	1943
36	487	610	763	765	980	1224	1527	1920
38	483	605	756	757	970	1212	1515	1909
40	480	600	750	750	960	1200	1500	1890

Таблиця Д 6- Технічні характеристики автоматичних вимикачів типу АП-50

Тип вимикача	Номіналь- ний струм автомата, А	Номінальний струм розчі- плювача, А	Уставка струму мит- тєвого спрацьовуван- ня електромагнітного розчіплювача	Максимальний струм вимикача, кА
АП – 50Б	63	1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16; 25; 40; 50; 63	10 I <sub>НОМ</sub>	-
АП -50 – 3МТ	50	1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16; 25; 40; 50;	3,5 I <sub>НОМ</sub> ± 15% 8 I <sub>НОМ</sub> ± 20% 11 I <sub>НОМ</sub> ± 20%	Для I <sub>НОМ</sub> 1,6 А – 0,3 Для I <sub>НОМ</sub> 2,5 А – 0,4 Для I <sub>НОМ</sub> 4 А – 0,6
АП -50 – 2МЗТО	50	10; 16; 25; 40; 50	3,5 I <sub>НОМ</sub> ± 15% 8 I <sub>НОМ</sub> ± 20% 11 I <sub>НОМ</sub> ± 20%	Для I <sub>НОМ</sub> 6,4 А – 0,8 Для 10 А и более – 1,5

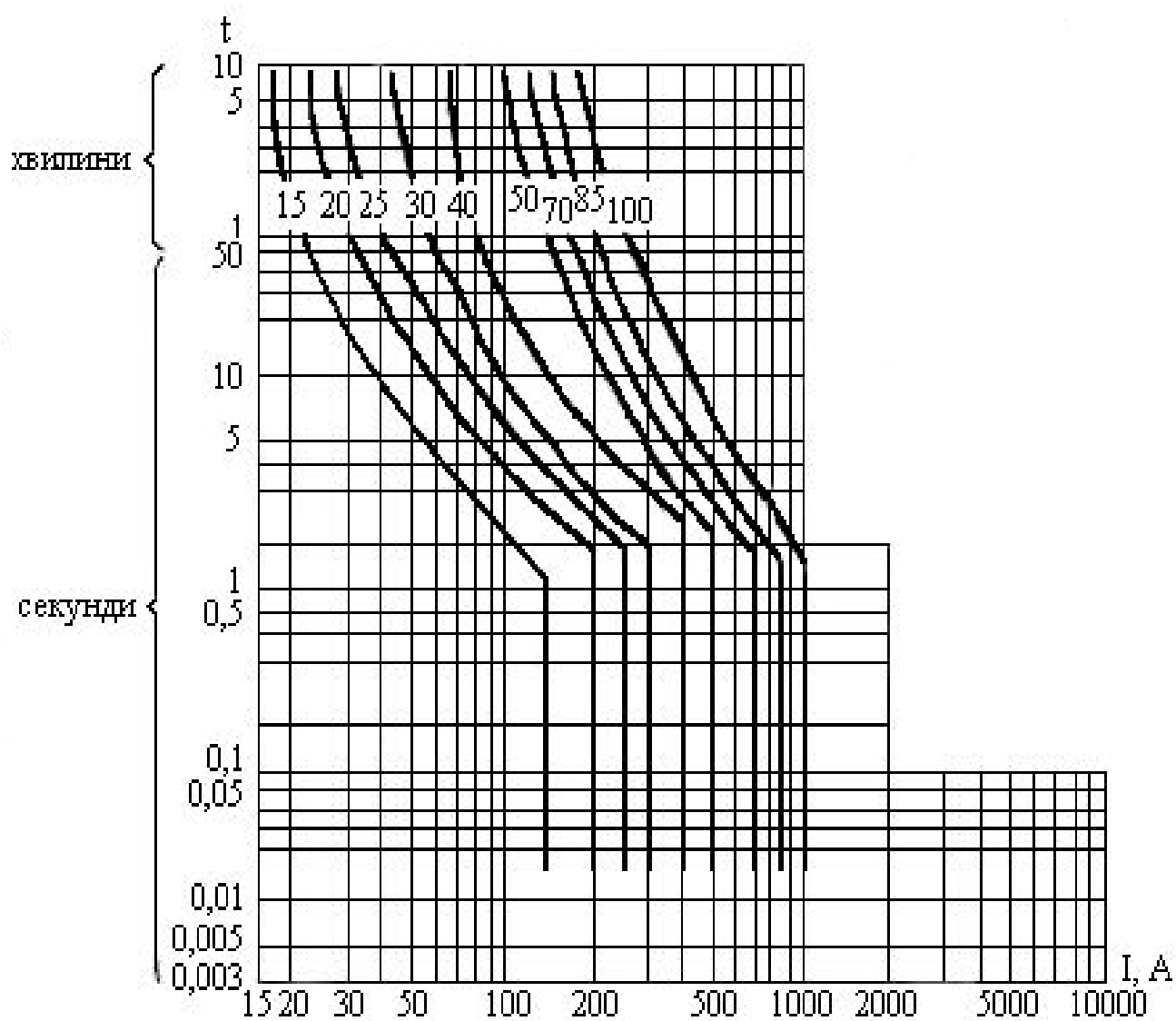


Рис. Д 1. Захисна характеристика автоматичного вимикача типу А3110

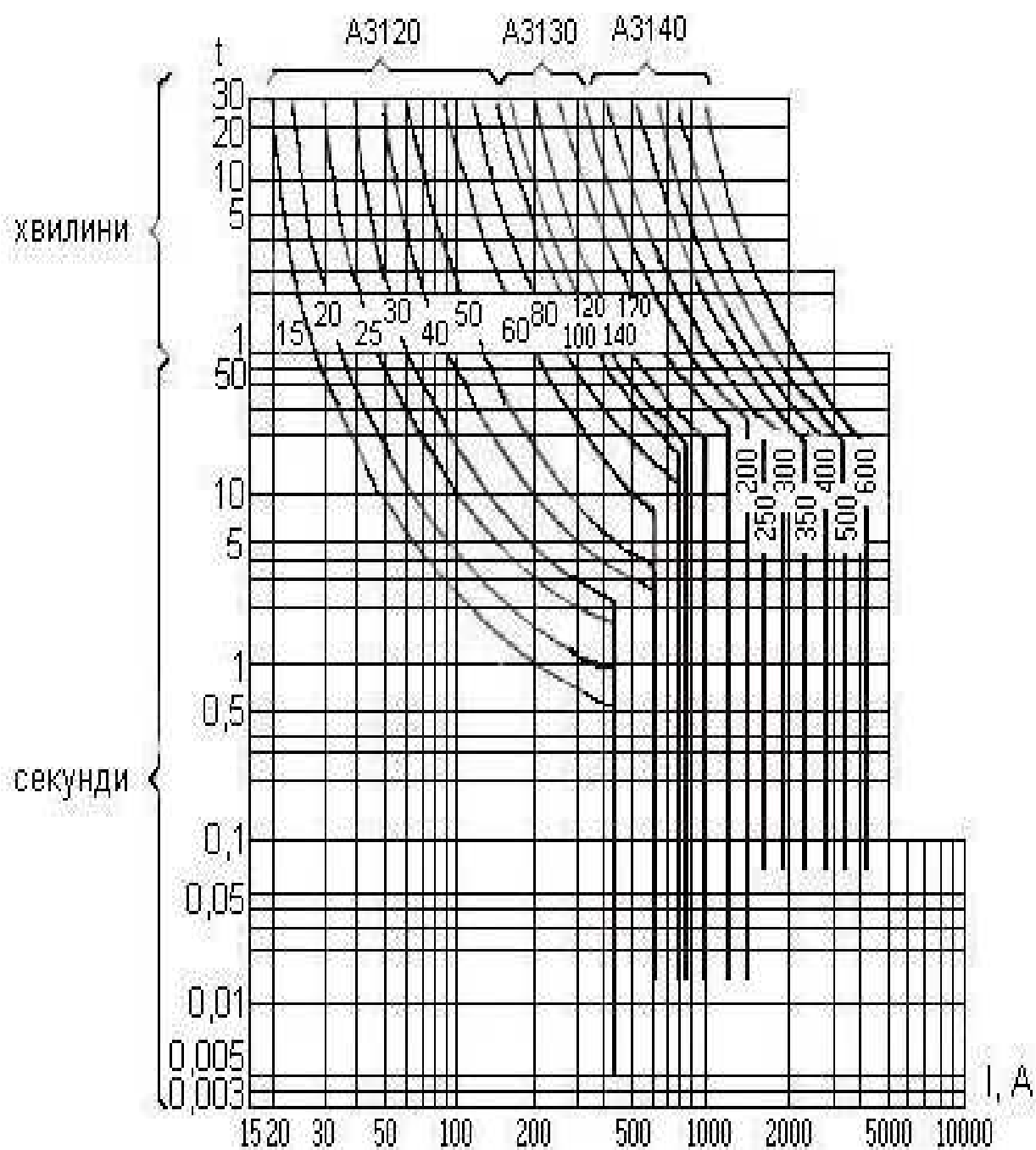


Рис. Д2. Захисні характеристики автоматичних вимикачів типу А3120, А3130, А3140



## **Лабораторна робота №5**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ**

#### **1. Мета роботи**

1. Вивчення принципу дії та особливостей конструкції вимірювальних трансформаторів струму.
2. Дослідження залежності похибки трансформаторів струму від їх навантаження.
3. Одержання уявлення про найбільш поширені схеми включення трансформаторів струму та особливості їх роботи.
4. Засвоєння головних технічних характеристик трансформаторів струму та методика їх визначення.

#### **2. Загальні положення**

Трансформатором струму називають статичний електромагнітний пристрій, що має дві або більш індуктивно зв'язані обмотки, в якому при номінальних умовах роботи струм у вторинних обмотках практично пропорційний первинному струму, а фазовий зсув між ними близький до нуля.

Трансформатори струму призначені для перетворення змінного струму будь-якої величини в змінний, прийнятний за величиною для безпосереднього його вимірювання за допомогою стандартних вимірювальних приладів або для забезпечення роботи вимірювальних реле захисту, а також для ізоляції вимірювальних приладів і вимірювального реле захисту від кіл високої напруги.

Первинну обмотку трансформатора струму включають у коло послідовно з навантаженням силового кола, а вторинну обмотку замикають на вимірювальні прилади або реле, в яких струм має бути пропорційним струму первинного кола.

У трансформаторах струму високої напруги первинна обмотка ізольована від вторинної на повну робочу напругу первинного кола. Один кінець вторинної обмотки обов'язково заземлюють, тому її потенціал близький до потенціалу землі. Трансформатори струму за призначенням поділяють на трансформатори для вимірювання і для пристроїв захисту, але в багатьох випадках ці функції можуть бути суміщені.

Трансформатори струму для вимірювання призначені для передачі інформації вимірювальним приладам. Для цього їх встановлюють у колах високої напруги або в колах з великим струмом, де безпосереднє підключення вимірювальних приладів неможливе. У такому разі до вторинних обмоток трансформаторів можуть бути підключені амперметри, струмові обмотки ватметрів, лічильників і аналогічних їм приладів. Таким чином, трансформатори струму для вимірювання забезпечують:

- 1) перетворення змінного струму будь-якого призначення у змінний струм, що прийнятний для безпосереднього вимірювання за допомогою стандартних вимірювальних приладів;
- 2) ізоляцію вимірювальних приладів, до яких має доступ обслуговуючий персонал, від кіл високої напруги.

Трансформатори струму для пристроїв захисту призначені для передачі вимірювальної інформації у пристрої захисту або керування. Відповідно до цього трансформатор забезпечує:

- 1) перетворення змінного струму будь-якої величини в змінний струм, прийнятний для спрацьовування пристроїв релейного захисту;
- 2) ізоляцію реле, до яких має доступ обслуговуючий персонал, від кіл високої напруги.

Усі трансформатори струму класифікують за признаками:

- за родом установки: трансформатори струму, що призначені для роботи на відкритому повітрі; для роботи у закритих приміщеннях; для вбудовування у порожнини електрообладнання; для спеціальних установок ( у шахтах, суднах, електровозах і т.п.);

- за способом установки: прохідні, що призначені для використання у якості вводів і які встановлюють у провалі стін, стель або у металевих конструкціях; опорні, що призначені для встановлення їх на опорній площині; встроюванні, що призначені для встановлення їх у порожнині електрообладнання;

- за числом коефіцієнтів: з одним коефіцієнтом і з декількома коефіцієнтами трансформації за рахунок зміни кількості витків первинної або вторинної обмоток або використанням декількох вторинних обмоток з різною кількістю витків, що відповідає різному номінальному вторинному струму;

- за виконанням первинної обмотки: одновиткові й багато виткові;

- за родом ізоляції між первинною і вторинною обмотками: тверда (порцеляна, лита, пресована ізоляція та ін.); в'язка (залісочні компаунди); комбінована (паперомасляна, конденсаторного типу), газова (повітря, елегаз).

Схема двохобмоточного трансформатора струму надана на рис.1.

Трансформатор являє собою стальне осердя, набране з листової сталі, на яке накладені дві ізольовані одна від одної і від осердя обмотки: первинна з числом витків  $\omega_1$  і вторинна з числом витків  $\omega_2$ .

При протіканні в первинній обмотці змінного струму  $I_1$  в магнітному колі виникає змінний магнітний потік  $\Phi_1$ , внаслідок дії якого у вторинній обмотці наводиться е.р.с.  $E_2$ .

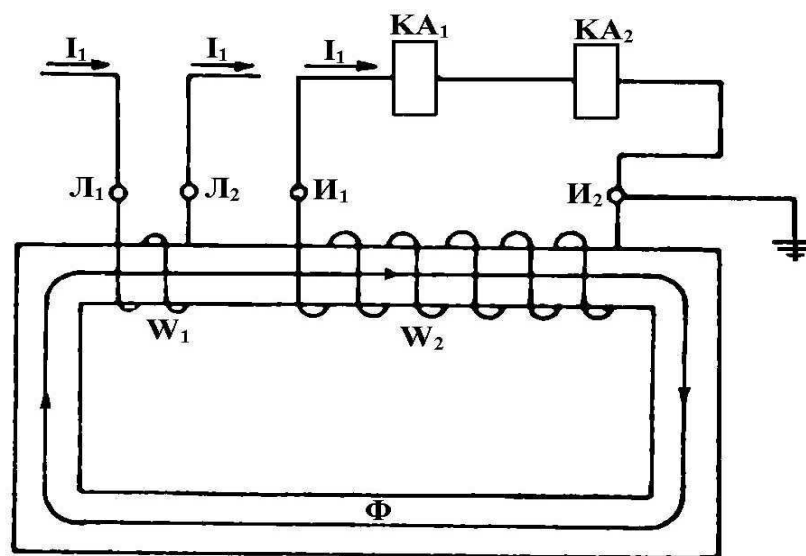


Рис. 1 – Схема двохобмоточного трансформатора струму

При замиканні вторинної обмотки на навантаження в замкнутому колі вторинної обмотки виникає змінний струм  $I_2$ , який, у свою чергу, створює свій магнітний потік  $\Phi_2$ , спрямований протилежно основному магнітному потоку  $\Phi_1$ .

Роботу трансформатора характеризують рівнянням намагнічуючих сил, згідно з яким геометрична сума намагнічуючих сил первинної й вторинної обмоток утворює результуючу намагнічуючу силу

$$\dot{F}_o = \dot{F}_1 - \dot{F}_2,$$

або

$$\dot{I}_o \omega_1 = \dot{I}_1 \omega_1 - \dot{I}_2 \omega_2,$$

де  $\dot{I}_o$  – струм намагнічування, що є частиною первинного струму, який забезпечує результуючий магнітний потік в осерді.

Розділивши всі члени останнього виразу на  $\omega_2$ , отримаємо:

$$\frac{\dot{I}_1}{K} = \dot{I}'_1 = \dot{I}'_0 + \dot{I}_2,$$

де  $K = \frac{\omega_2}{\omega_1}$  – коефіцієнт трансформації;

$\dot{I}'_1$  – приведені значення первинного струму  $I_1$  до вторинної обмотки;

$\dot{I}'_0$  – приведені значення струму намагнічування  $I_0$  до вторинної обмотки.

Сказане наочно ілюструє схема заміщення трансформатора струму, надана на рис.2.

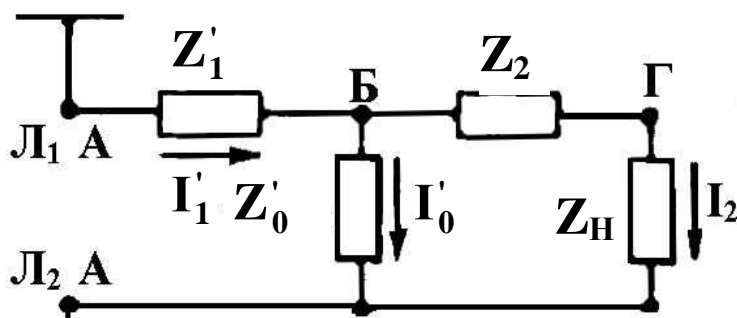


Рис. 2 – Схема заміщення трансформатора струму

На рис.2  $Z_H$  – повний опір навантаження;  $Z_2$  – повний опір вторинної обмотки  $\omega_2$ ;  $Z_o'$  – повний опір намагнічування, приведений до числа витків вторинної обмотки;  $Z_1'$  – повний опір первинної обмотки, приведений до числа витків вторинної обмотки.

Зі схеми заміщення видно, що у вторинну обмотку поступає не весь струм  $I_1'$ , а тільки його частина –  $I_2$ . Інша його частина витрачається на створення магнітного потоку в осерді  $I_0'$ .

Таким чином, в ідеальному трансформаторі  $I_1' = I_2$  тільки при  $Z_H = 0$  і  $Z_o = \infty$ . У реальних же трансформаторах опір  $Z_o$  має кінцеву величину, що приводить до похибки трансформатора. При вимірюваннях похибка буде тим більша, чим більша величина струму намагнічування  $I_0'$ . Очевидно, що його величина буде визначатися характеристикою намагнічування осердя й величиною падіння напруги  $\dot{U}_2$  на сумі опорів  $Z_2$  і  $Z_H$ :

$$\dot{U}_2 = \dot{I}_2 (Z_H + Z_2).$$

Залежність похибки трансформаторів від співвідношення інших величин, що визначають його роботу, можна прослідити за допомогою векторної діаграми, наданій на рис.3.

Напруга вторинної обмотки  $U_2$  витрачається тільки на подолання малого опору струмових кіл підключених приладів. Цьому малому значенню напруги (від 1 до 6 В) відповідає мала величина вторинної е.р.с.  $E_2$ , а отже, і мала величина відповідного потоку:

$$\Phi_{\max} = \frac{E_2}{4,44 \cdot f \cdot \omega_2},$$

Для збудження такого потоку потрібна незначна м.р.с.  $\Phi_1 = I_1 \cdot \omega_1$ , тому в рівнянні магнітної рівноваги трансформатора

$$\dot{I}_1 \omega_1 = \dot{I}_0 \omega_1 + (-\dot{I}_2 \omega_2)$$

нею можна зневажити і вважати, що

$$\dot{I}_1 = -\frac{\omega_2}{\omega_1} \cdot \dot{I}_2,$$

тобто вторинний струм, зв'язаний з первинним струмом коефіцієнтом трансформації і протилежний йому за фазою. Струм у правильно підключених приладах співпадає за фазою з первинним струмом.

У трансформаторах струму незалежною величиною є первинний струм. У більшості випадків він у кілька разів перевищує струм  $I_2$ , тому кількість витків первинної обмотки  $\omega_1$  може бути невеликою (у багато разів менше ніж  $\omega_2$ ). Так, різниця в кількості витків у первинній і вторинній обмотці приводить до того, що напруга на затискачах первинної обмотки у кілька разів менша за вторинну напругу. Враховуючи, що вторинна напруга трансформатора складає не більше, ніж декілька вольт, його первинна напруга складає всього декілька сотих вольт.

Підвищення опору вторинного кола трансформатора не впливає на струм  $I_1$ , але викликає збільшення  $I_0 \omega_1$  і зменшення  $I_2 \omega_2$  тому, що чим більший опір, тим більшою має бути е.р.с.  $E_2$  і магнітний потік, що її індукує. У той же час чим більше  $I_0 \omega_1$ , тим далі ми віддаляємося від головної умови роботи трансформатора струму  $I_1 \omega_1 \approx -I_2 \omega_2$ . Тому в трансформаторах вказують той найбільший опір у вторинному колі, на який можна замикаєти вторинну обмотку не виходячи за межі допустимих похибок. Намагнічуючи ампервитки трансформатора обумовлюють деяку неточність у передачі величини струму – тобто виникне похибка струму і в передачі фази струму – тобто кутова похибка.

Якщо під час роботи трансформатора розімкнути коло вторинної обмотки, то вторинний струм  $I_2$  стане рівним нулю, а первинний струм  $I_1$  залишить-

ся попереднім. Отже весь первинний струм піде на намагнічування осердя:

$$I_1 \omega_1 = I_0 \omega_1.$$

Оскільки втрати в залізі осердя пропорційні квадрату потоку, то його збільшення призведе до значного нагрівання заліза і температурного розширення, що дуже небезпечно для цілісності ізоляції трансформатора.

Окрім того, е.р.с.  $E_2$  пропорційна потоку, тому її збільшення викличе різке підвищення напруги на затискачах вторинної обмотки. Походячи з цієї причини розмикати вторинне коло працюючого трансформатора струму забороняється.

Залежність похибки трансформаторів струму від співвідношення інших параметрів, що визначають його роботу, можна простежити на векторній діаграмі, зображеній на рис. 3.

Векторна діаграма, побудована на основі схеми заміщення (рис.2). При цьому передбачається, що всі опори лінійні і тому при синусоїдальному первинному струмі всі інші величини також синусоїдальні. За початковий вектор у діаграмі прийнятий вектор вторинного струму  $I_2$ . Всі інші величини приведені до числа витків вторинної обмотки.

На векторній діаграмі (рис.3):

$\dot{U}_2$  – напруга на затискачах вторинної обмотки при наявності струму навантаження

$$\dot{U}_2 = (R_{нав} + jX_{нав})\dot{I}_2; .$$

$\dot{E}_2$  – е.р.с., що індукується у вторинній обмотці,

$$\dot{E}_2 = \dot{U}_2 + (R_2 + jX_2)\dot{I}_2; .$$

Вектор  $\dot{E}_2$  випереджає вектор струму  $I_2$  на деякий кут  $\alpha$ ;

$\dot{\Phi}$  – магнітний потік в осерді, який випереджає вектор  $E_2$  на  $90^\circ$ . Однак на векторній діаграмі для зручності розгляду він показаний відстаючим на  $90^\circ$ , так як умовний позитивний напрямок прийнято протилежним.

The diagram shows a phasor system with a common origin  $O$ . The terminal voltage phasor  $\dot{E}_2$  is the resultant of the induced EMF phasor  $\dot{E}_1$  and the voltage drop across the synchronous reactance  $\dot{I}_2 X_2$ . The induced EMF  $\dot{E}_1$  is in phase with the field current  $\dot{I}_f$ . The synchronous reactance drop  $\dot{I}_2 X_2$  is in phase with the armature current  $\dot{I}_2$ . The angle between  $\dot{E}_1$  and the vertical axis is  $\alpha$ . The angle between  $\dot{E}_2$  and the vertical axis is  $\delta$ . The angle between  $\dot{I}_2$  and the vertical axis is  $\gamma$ . The angle between  $\dot{I}_f$  and the vertical axis is  $\beta$ . The angle between  $\dot{E}_1$  and  $\dot{I}_f$  is  $\theta$ . The angle between  $\dot{E}_2$  and  $\dot{I}_2$  is  $\phi$ . The angle between  $\dot{E}_1$  and the vertical axis is  $\alpha$ . The angle between  $\dot{E}_2$  and the vertical axis is  $\delta$ . The angle between  $\dot{I}_2$  and the vertical axis is  $\gamma$ . The angle between  $\dot{I}_f$  and the vertical axis is  $\beta$ . The angle between  $\dot{E}_1$  and  $\dot{I}_f$  is  $\theta$ . The angle between  $\dot{E}_2$  and  $\dot{I}_2$  is  $\phi$ .

грум намагнічування, що проходить у схемі заміщен

$I_1'$  – результирующий вектор первинного струму

102



З векторної діаграми видно, що вектор  $I_1'$  не дорівнює вторинному струму  $I_2$  за величиною  $\Delta I$  і зсунутий від нього по фазі на кут  $\delta$ .

Струмову похибку визначають за формулою

$$f_i = \frac{I_2 - \frac{I_1}{K_{ном}}}{\frac{I_1}{K_{ном}}} \cdot 100\% = \frac{K_{ном} \cdot I_2 - I_1}{I_1} \cdot 100\% .$$

Кутова похибка може бути визначена за допомогою векторної діаграми за величиною кута між векторами  $I_2$  та  $I_1'$  (кут  $\delta$ ).

З прямокутного трикутника ОВС

$$\sin \delta = |BC| / I_1' ,$$

де катет  $|BC| = I_0' \cdot \cos (\gamma + \alpha)$ , отже

$$\sin \delta = \frac{I_0'}{I_1'} \cos (\gamma + \alpha) .$$

Для кутів, що не перевищують декількох градусів, синус кута може бути чисельно рівним самому куту в радіанах:

$$\delta = \frac{I_0'}{I_1'} \cos (\gamma + \alpha) , \text{ рад.}$$

По векторній діаграмі можна переконатися, що із збільшенням кута  $\alpha$ , який залежить від характеру навантаження вторинної обмотки, кут  $\delta$  зменшується, а  $\Delta I$  зростає. Кутова похибка при цьому складає

$$f_\delta = (1 - \cos \delta) \cdot 100\% .$$

Наприклад при куті  $\delta = 10^\circ$  кутова похибка не перевищує 1,5%.

Повну похибку визначають як виражене у відсотках відношення діючого значення різниці миттєвих значень первинного і вторинного струмів до діючого значення первинного струму:

$$\varepsilon = \frac{100}{I_1} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (i_2 - K_{ном} - i_2)^2 dt},$$

де  $I_1$  – діюче значення первинного струму;

$T$  – тривалість періоду струму;

$K_{ном}$  – номінальний коефіцієнт трансформації.

Повна похибка, як і струмова, в загальному випадку визначається наявністю струму намагнічування. Вона враховує також наявність в  $I_2$  і  $I_0$  вищих гармонік, поява яких пояснюється наявністю сталевих осердя.

Повна похибка пов'язана з граничною кратністю трансформаторів струму. Ця кратність являє собою найбільше відношення первинного струму до його номінального значення, при якому повна похибка при заданому вторинному навантаженні не перевищує 10% :  $\varepsilon \leq 10\%$ .

### ***Технічні характеристики трансформаторів струму***

До загальних технічних характеристик трансформаторів струму відносять: повну напругу, номінальний первинний струм, номінальний вторинний струм, вторинне навантаження, коефіцієнт трансформації та ін.

1. Номінальною напругою трансформатора струму  $U_{1ном}$  називають діючу величину лінійної напруги, при якій має функціонувати трансформатор струму. Цю напругу вказують у паспорті трансформатора. Для вітчизняних трансформаторів прийнята така шкала номінальних напруг, кВ: 0,66; 6,0; 10; 35; 110; 150; 220; 330; 500.

2. Номінальним первинним струмом  $I_{1ном}$  називають струм, для вимірювання якого призначений трансформатор. Цей струм являє собою базисну величину, до якої відносять усі інші технічні показники. Для вітчизняних трансформаторів прийнята така шкала первинних струмів, А: 1,0; 5; 10; 20; 30; 40; 50; 75; 80; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 700; 750; 800; 1000; 1200; 1500; 2000 і т.д. до 40000. Величина цього струму визначається заводом – виготівником,

який гарантує нормальну роботу трансформатора при довготривалому проходженню такого струму при нормованій температурі навколишнього середовища, номінальній напрузі і частоті. При цьому температура частин трансформатора не повинна перевищувати нормовану температуру для довготривалої роботи.

3. Номінальний вторинний струм  $I_{2ном}$ . Під цим струмом розуміють струм, до якого призначені прилади, що мають приєднуватися до вторинної обмотки трансформатора. Як правило, цей струм дорівнює одному або п'яти ампер.

4. Вторинне навантаження трансформатора струму  $Z_{2ном}$  відповідає повному опору його зовнішнього кола в Ом-ах. Вторинне навантаження може характеризуватися повною потужністю у вольт-амперах, що споживається ним при повному коефіцієнті потужності і номінальному вторинному струму.

Вторинне навантаження з коефіцієнтом потужності  $\cos \varphi = 0.8$  при якому гарантується встановлений клас точності трансформатора називають номінальним вторинним навантаженням  $Z_{2н.ном}$ . Відповідна величина вторинного навантаження (в Ом) визначається за формулою

$$Z_{2н.ном} = \frac{S_{2н.ном}}{I_{2ном}^2}.$$

5. Номінальний коефіцієнт трансформації являє собою відношення номінальних струмів первинної  $I_{1ном}$  і вторинної  $I_{2ном}$  обмоток:

$$K_{ном} = \frac{I_{1ном}}{I_{2ном}}.$$

Іншою характерною величиною для трансформаторів струму є відношення кількості витків вторинної і первинної обмоток:

$$K = \frac{\omega_2}{\omega_1},$$

яка дещо відмінна від  $K_{ном}$ . Це пояснюється тим, що в робочому режимі трансформатора необхідно компенсувати струм намагнічування, щоб підвищити точність вимірювання. Тому це відношення вибирають дещо меншим ніж коефіцієнт трансформації.

6. Стійкість трансформатора струму до механічних, теплових навантажень, яку характеризують електродинамічною стійкістю і струмом термічної стійкості.

Струм електродинамічної стійкості  $I_{дин}$  дорівнює найбільшій амплітуді струму КЗ за весь час його протікання, який витримує трансформатор без пошкоджень, які можуть перешкоджати його подальшій роботі.

Електродинамічна стійкість може бути характеризувана кратністю  $K_{дин}$ , що являє собою відношення струму електродинамічної стійкості до амплітуди номінального первинного струму.

Струм термічної стійкості  $I_{терм}$  дорівнює найбільшій діючій величині струму КЗ за проміжок часу  $t_{\tau}$ , яку трансформатор витримує протягом усього проміжку часу без нагрівання струмоведучих частин до температури, що перевищує допустиму при струмах КЗ без пошкоджень, які можуть перешкоджати його подальшій роботі.

Температура струмоведучих частин трансформатора при струмі термічної стійкості не повинна перевищувати  $200^{\circ}\text{C}$  для струмоведучих частин з алюмінію і  $300^{\circ}\text{C}$  – для струмоведучих частин з міді і її сплавів.

7. Клас точності. Клас точності трансформаторів струму характеризує найбільші їх похибки при різних величинах струму у первинній обмотці та вторинного навантаження. Із аналізу векторної діаграми видно, що використання трансформаторів струму вносить у результати вимірів два види похибок: струмову і кутову.

Струмовою похибкою трансформатора струму називають похибку, яку вносить трансформатор при вимірюваннях і яка виникає унаслідок того, що дійсний коефіцієнт трансформації не дорівнює номінальному.

Кутовою похибкою трансформатора струму називають фазовий зсув між векторами первинного і вторинного струмів при такому виборі їх напрямку, щоб для ідеального трансформатора струму цей кут дорівнював нулю.

Типи й основні технічні характеристики ТС напругою до 10 кВ, що застосовують в різних конструкціях КРУ, наведені в табл. 1 і рис. 4.

Таблиця 1 – Типи трансформаторів струму та їх технічні характеристики

<i>Тип ТС</i>	<i>Позначення КРУ</i>	<i><math>I_{ном}, кА</math></i>	<i><math>I_{дин}, А</math></i>	<i><math>I_m, кА</math> (3с)</i>	<i>Маса, кг</i>	<i>Номер рис.</i>
ТОЛ-10	К-104, КМ-1 КМ-1Ф К.47, К-49	50 100,150,200 300,400 600,800 1000,1500	17,6 52 100	2,45 4,85-8,75 16 20 31,5	25	4, а
ТЛ-10-1	КЭ-10	50-200 300 400 600 800-3000	51 81	2,5-10 15 31,5	47	4,б
ТЛ10-II	КЭ-6	300, 400 630 800-3000	128	20 31,5 40	47	4, в
ТЛМ-10-1	К-ХХУ1	50,100,150, 200 300,400, 600, 800 1000,1500	17,6-52 100 100	2,8-10,1 18,4; 23 26	27	4, г
ТПЛК-10	КР-10/31,5	10-50 100-400 600,800, 1000, 1500	2,47-14,8 74,5 74,5	0,47-2,36 4,72-18,9 28,3-70,8	47	4,д
ТПЛ-10	К-108, КРУ2-10-20	5-200 300,400	45* 45*	250* 175*	16	4,е
ТПОЛ-10	КРУ2-10-20	600,800. 1000, 1500	48,6-67,5	18-32	18	4, жс
ТЛШ-10	К-ХХVII, КМ-1, КР-10/31,5 КМ-1Ф	2000,3000	81	31,5	26 30	4,з
*Приведена кратність стійкості.						

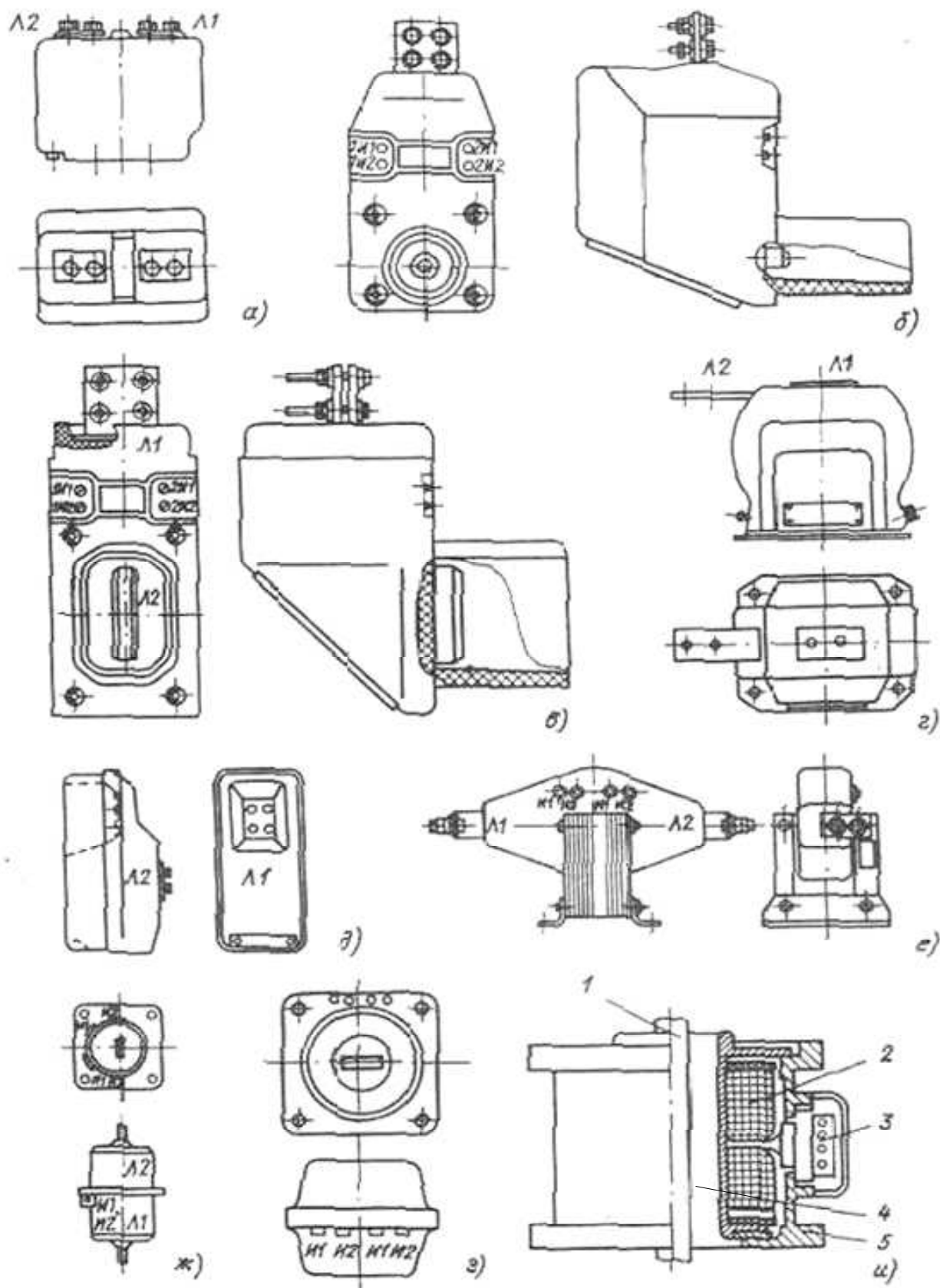


Рис.4 – Трансформатори струму:

а - ТОЛ-10; б - ТЛ-10-І; в - ТЛ-10-ІІ; г - ТЛМ-10-1; д - ТПЛК-10; е - ТПЛ-10;  
 ж - ТПОЛ-10; з - ТЛШ-10; и - елегазовий на 110 и 220 кВ; 1 - стрижень струмове-  
 дущий; 2 - обмотка вторинна; 3 - затискач контактний; 4 - магнітопровід;  
 5 - оболонка металева.

### **3. Зміст і методика контролю технічних характеристик вимірювальних трансформаторів струму**

В об'єм робіт по контролю технічних характеристик трансформаторів струму входять:

- зовнішній огляд;
- перевірка стану ізоляції;
- визначення полярності виводів;
- перевірка характеристики намагнічування;
- визначення коефіцієнта трансформації.

1) Зовнішній огляд. Звертають увагу на надійність його кріплення, стан ізоляції, стан контактних з'єднань і виводів. Одночасно проводиться їх очищення від пилу і інших можливих забруднень.

2) Перевірка стану ізоляції. Включає вимірювання опору ізоляції і випробування її електричної міцності високою напругою.

Опір вимірюється після очищення трансформатора від пилу і бруду. Для вимірювання звичайно використовують мегаомметри на 1000 або 2500 В. Опір ізоляції кожної з обмоток вимірюється як відносно корпусу трансформатора, так і відносно один одного. Величина опору не нормується, однак повинна знаходитися в межах 50-100 МОм для первинної обмотки і не менше за 1МОм для вторинної. При більш низькому рівні опору необхідно висушити трансформатор.

Електричну міцність ізоляції вторинної обмотки визначають випробуванням її високою напругою змінного струму. Після підключення трансформатора до випробувальної установки напругу плавно підіймають до 500В і витримують деякий час на цьому рівні, перевіряючи при цьому струм навантаження випробувальної установки. Якщо при випробуванні не виявиться поштовхів напруги, розрядів, пробоїв, іскріння, то напругу підіймають до 1000В і ще раз перевіряють струм навантаження. На цьому рівні напругу підтримують протягом однієї хвилини. При пробі ізоляції напруга має різко поменшати, а струм – різко зрости. Ці свідчення приладів і є вирішальними при визначенні міцності ізоляції.

3) Визначення полярності виводів трансформатора струму. Для контролю правильного з'єднання трансформатора струму між собою, а також правильного підключення до них реле напрямку потужності, ватметрів і лічильників кінці обмоток трансформаторів струму зазвичай маркірують. За початок первинної обмотки приймають вивід, приєднаний у бік шин розподільного пристрою, за кінець – вивід, приєднаний у бік лінії, трансформатора і т.п.

Виводи первинної і вторинної обмоток перевіряють по схемі, представленій на рис. 5.

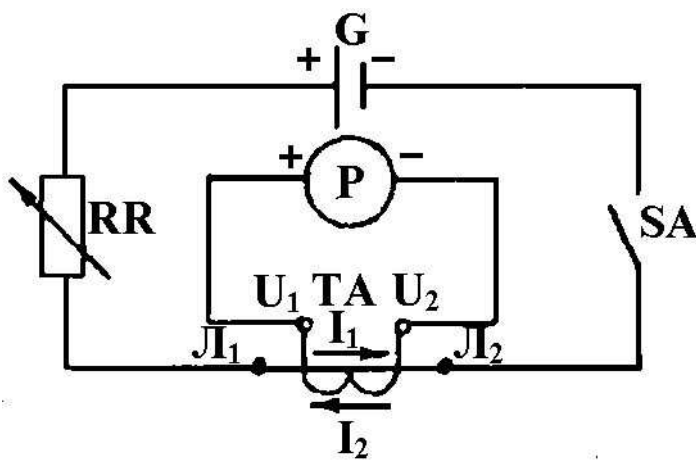


Рис. 5 - Схема перевірки виводів первинної і вторинної обмоток

У схемі використовують джерело постійного струму – акумулятор або суху батарею; магнітоелектричний поляризований прилад, у якому напрям відхилення стрілки залежить від напрямку струму в його обмотці; обмежуючий резистор, величина

якого визначається напругою джерела; вимикачі.

Знаючи, що позитивному напрямку струму в первинному колі (від затискача  $L_1$  до затискача  $L_2$ ) відповідає напрям струму у вторинній обмотці від кінця (затискач  $I_2$ ) до початку (затискач  $I_1$ ), можна у напрямі відхилення стрілки приладу визначити однополярні виводи трансформатора. Напрямок відхилення стрілки приладу фіксують в момент замикання контактів вимикача, коли внаслідок перехідного процесу у вторинній обмотці трансформатора за правилом Ленца індукується струм. Наприклад, якщо в момент замикання рубильника SA стрілка приладу при вказаній на рис.5 полярності джерела струму відхиляється праворуч, то напрям струму в обмотці приладу буде зліва направо, а у вторинній обмотці трансформатора, навпаки – зправа наліво.



Таким чином, правий затиск приладу укаже кінець вторинної обмотки  $I_2$ , а лівий – її початок  $I_1$ .

4) Перевірка характеристики намагнічування. Важливою характеристикою трансформатора струму є крива намагнічування, за виглядом якої можна судити про справність трансформатора. Зокрема, за виглядом характеристики намагнічування можна визначити: виткові замикання і несправності магнітопроводу, а також можливість спільного використання трансформаторів в схемах диференційних захистів (оскільки при майже співпадаючих характеристиках струми небалансу будуть мінімальними).

Розглянемо схему заміщення трансформатора струму (рис.2), з якої слідує, що частина первинного струму  $I_1'$ , який проходить через приведений опір первинної обмотки  $Z_1'$ , відхиляється в опір намагнічування  $Z_o$ , а частина струму, що залишається  $I_2$  проходить через опір вторинної обмотки  $Z_2$  і опір навантаження  $Z_n$ .

При визначенні кривої намагнічування джерело живлення довелося б підключити до первинної обмотки (точки  $L_1$  і  $L_2$ ), що зажадало б потужних і громіздких джерел живлення, застосування яких в умовах експлуатації не можливо.

Вольт-амперна характеристику знімають при розімкненій первинній обмотці трансформатора (рис.6).

При новому включенні визначають 10-12 точок і по них будують криву залежності  $U_2 = f(I_2)$ , яку і порівнюють з типовою характеристикою.

При планових перевірках знімають 3-4 точки, перевіряють їх збіг з характеристикою, яку отримано раніше. При наявності в трансформаторі короткозамкнутих витків характеристика різко знижується, що добре видно на рис. 7. Характеристика не повинна бути нижче типової більш ніж на 20%, а від знятої раніше – не більш ніж на 5%.

З схеми видно, що якби можна було подати первинний струм в точки  $a$  і  $Л_2$ , то результат не змінився б: частина струму пішла б через опори намагнічування  $Z_o$ , а інша – у вторинну обмотку  $Z_2$ ,  $Z_H$ . Але точка  $a$  в реальному трансформаторі не існує. Тому живлення можливо подати тільки в точки  $И_1$  і  $И_2$ , що відповідає подачі струму у вторинну обмотку трансформатора. Різниця полягатиме лише у тому, що опір вторинної обмотки в схемі заміщення з'єднаний послідовно з опором  $Z_o$  і дає невелику, порядку декількох відсот-

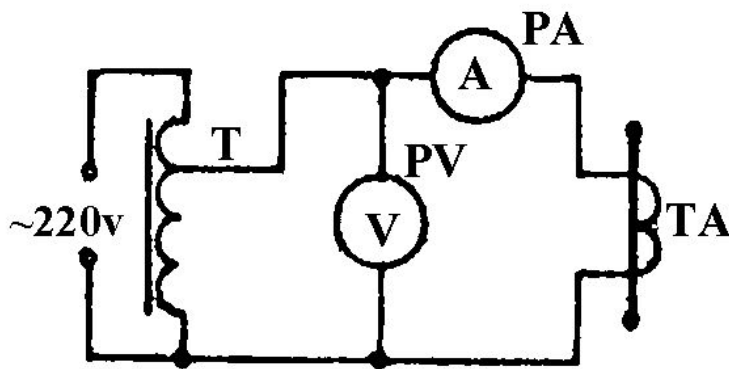


Рис. 6 - Схема визначення вольт-амперної характеристики трансформаторів струму

ків, помилку в порівнянні з результатом перевірки первинним струмом. Однак, оскільки всі випробування проводять саме таким методом, цю помилку можна взагалі не враховувати.

5) Визначення коефіцієнта трансформації. Кожний трансформатор характеризуєть номінальним коефіцієнтом трансформації, що являє собою відношення номінального первинного струму до номінального вторинного струму. При необхідності визначення первинних струмів, коли відомі вторинні, можна використати наближені вирази  $I_{ном1} = K \cdot I_{ном2}$ , але при цьому має місце деяка помилка, зумовлена тим, що номінальний коефіцієнт не рівний дійсному  $K_o$ , так як його величина залежить від режиму роботи трансформатора. Коефіцієнт трансформації вимірюють у відповідності зі схемою, представленою на рис.8.

У первинну обмотку від навантажувального пристрою подають змінний струм, рівний  $0,2 I_{ном1}$ . Величину коефіцієнта трансформації отримаємо, взявши відношення показів амперметрів  $A_1$  і  $A_2$  відповідно до формули

$$K_i = \frac{I_{ном.1}}{I_{ном.2}}.$$

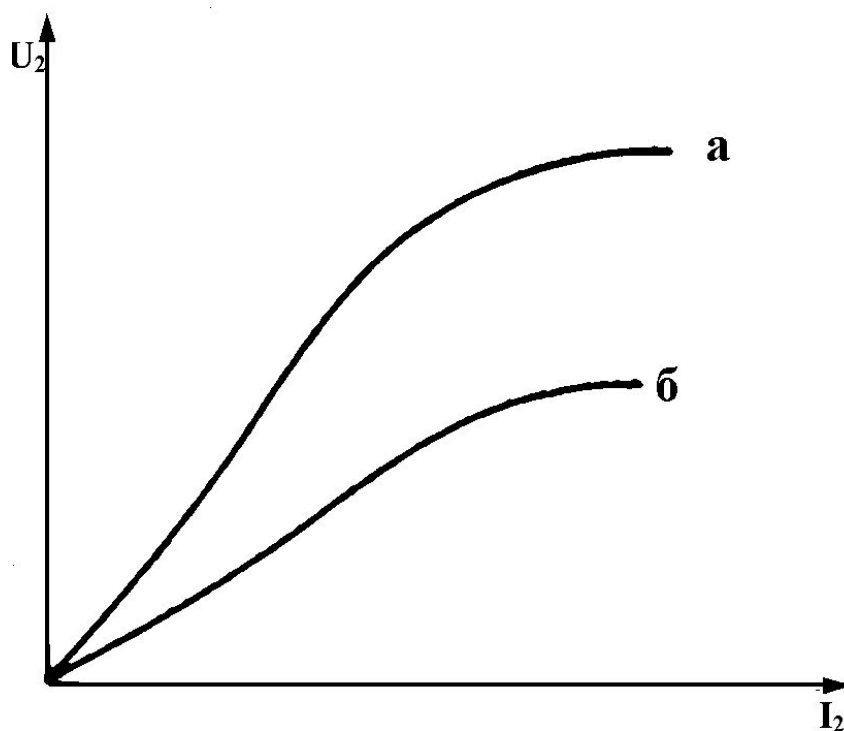


Рис. 7 - Вольт-амперні характеристики трансформатора струму:

крива *а* – без закорочених витків;

крива *б* – із закороченими витками

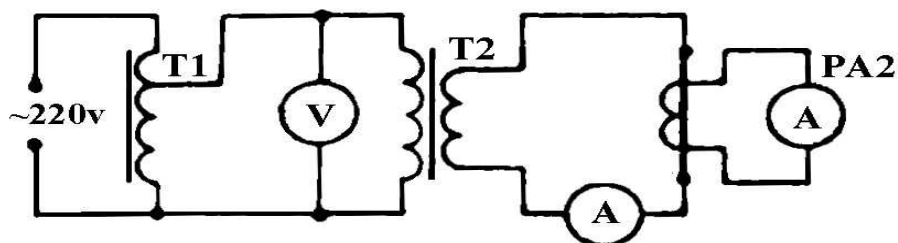


Рис. 8 - Схема вимірювання коефіцієнта трансформації

При перевірці вбудованих трансформаторів необхідно одночасно з вимірюванням коефіцієнта трансформації перевірити правильність маркіровки всіх відпаяєк в наступній послідовності. На дві будь-яких відпайки подають напругу

від автотрансформатора. Вольтметром визначають виводи, між якими напруга буде максимальна. Потім живлення від автотрансформатора подають на знайдені кінці обмоток. При цьому напругу встановлюють з розрахунку 1В на один виток. Номінальне число витків береться відповідно до заводських даних. Подальший розподіл напруги на відпайках повинен бути пропорційним відомому числу витків. Коефіцієнт трансформації визначають для кожної відпайки окремо.

#### **4. Програма роботи**

1. Засвоїти принцип дії трансформаторів струму.
2. Ознайомитись з конструктивними особливостями трансформаторів струму, що знайшли поширення в системах електропостачання.
3. За допомогою векторної діаграми прослідити залежність похибки вимірювання від навантаження трансформатора.
4. Ознайомитись з головними параметрами трансформаторів струму, що покладені в основу їх вибору при проектуванні систем електропостачання.
5. Розглянути і визначити параметри трансформаторів струму, що визначають їх технічний стан в умовах експлуатації
6. Ознайомитись з методами і схемами визначення параметрів трансформаторів струму, що контролюють під час їх експлуатації.
7. Розглянути можливі схеми включення трансформаторів струму в головні кола трансформаторних підстанцій.
8. Оформити звіт по роботі за встановленою формою.

#### **5. Зміст звіту**

Зміст звіту по роботі має відповідати наведеній у Додатку формі і містити у собі мету роботи та її зміст з поясненнями кожного з пунктів програми роботи. У звіті належить відобразити : схеми та ескізи, що пояснюють принцип дії

трансформаторів струму та їх конструктивні особливості; векторні діаграми, що пояснюють походження і величину похибки при вимірюванні струму; привести і подати коротку характеристику головних параметрів трансформаторів струму, що покладені в основу їх вибору при проектуванні підстанцій; привести стислу характеристику методів контролю технічного стану трансформаторів струму в умовах експлуатації; навести приклади включення трансформаторів струму в головні кола підстанції. У звіті також можуть бути наведені відповіді на контрольні запитання.

## **6. Контрольні запитання**

1. Який електричний апарат називають вимірювальним трансформатором струму (ТС)?
2. Для яких цілей використовують вимірювальні ТС?
3. Приведіть схему заміщення вимірювального ТС?
4. Яким рівнянням характеризують роботу вимірювального ТС?
5. Які величини характеризують точність роботи вимірювальних ТС?
6. Чому нормальним режимом роботи ТС вважають режим, близький до режиму КЗ вторинної обмотки?
7. З якою метою визначають полярність виводів ТС?
8. Чим обмежується число вимірювальних приладів і реле, включених у коло вторинної обмотки ТС?
9. Перелічіть основні заходи щодо технічного обслуговування ТС?
10. Яку величину називають струмовою похибкою ТС?
11. Наведіть формулу визначення номінального коефіцієнта трансформації.
12. Які вимоги ставлять до ізоляції ТС?
13. Яку потужність називають “номінальною потужністю ТС”?
14. Чим визначається величина е.р.с. у вторинній обмотці?
15. Чим забезпечується клас точності ТС?

16. Яку величину називають номінальним коефіцієнтом трансформації ТС?
17. Чому незадіяні вторинні обмотки ТС повинні бути завжди закороченими?
18. При якій величині струму в первинній обмотці ТС визначають коефіцієнт трансформації?
19. По яких признаках класифікують ТС?
20. Яким чином на кривій намагнічування позначають наявність короткозамкнутих витків у вторинній обмотці?

**ПРОТОКОЛ №**  
Перевірки і випробування трансформатора струму

Місце установки \_\_\_\_\_ Призначення \_\_\_\_\_

**1. Паспортні дані**

Завод виготівник	Тип	Напруга, кВ	Струм, А	Клас точності	Заводський №	Рік випуску

**2. Зовнішній огляд**

Зовнішній огляд \_\_\_\_\_

дефектів не виявлено, дефекти виявлені

**3. Вимірювання опору ізоляції обмоток**

Заводський №	Опір ізоляції відносно землі і між обмотками не нижче, МОм		
	Первинна обмотка	Вторинна обмотка	
		Клас точності	Клас точності

**4. Випробування ізоляції обмоток високою напругою**

Первинна обмотка випробування напругою \_\_\_\_\_ кВ змінного струму протягом \_\_\_\_\_ хвилин витримала.

Вторинна обмотка випробування напругою \_\_\_\_\_ кВ змінного струму протягом \_\_\_\_\_ хвилин витримала .

**5. Визначення маркировки виводів трансформатора.**

Маркировка відповідає ( не відповідає) схемі \_\_\_\_\_

**6. Визначення вольт-амперної характеристики.**

Струм вторинної обмотки								
Напруга на затискачах вторинної обмотки								

### Вольт-амперна характеристика


Відхилення характеристики не більше \_\_\_\_\_ %

7. Визначення коефіцієнта трансформації.

Коефіцієнт трансформації при випробуванні становить \_\_\_\_\_

Висновок

---



---

Перевірку і випробування трансформатора

проводили \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /



## **Лабораторна робота №6**

# **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСФОРМАТОРІВ НАПРУГИ**

### **1. Мета роботи**

1. Вивчити принцип дії вимірювальних трансформаторів напруги та особливості їх конструкції.
2. Дослідити залежність похибки трансформаторів напруги від їх навантаження.
3. Одержати уявлення про найбільш поширені схеми підключення трансформаторів напруги та особливості їх роботи.
4. Засвоїти головні технічні характеристики трансформаторів напруги та методику їх визначення.

### **2. Загальні положення**

Відповідно до ДСТУ трансформатором називають статичний електромагнітний апарат з двома і більше обмотками, призначений для перетворення змінного струму однієї напруги в змінний струм іншої напруги.

Відповідно до призначення всі трансформатори поділяють на силові та вимірювальні. Силові трансформатори набули широкого розповсюдження у розподільчих мережах для підвищення або зниження напруги, на якій відбувається передача енергії від джерел живлення до місця споживання.

Вимірювальні трансформатори використовують для забезпечення роботи пристроїв релейного захисту, автоматики і телемеханіки, а також для полегшення процесу обліку електричної енергії та вимірювання її параметрів.

У загальному випадку трансформатор являє собою статичний електромагнітний апарат, дія якого заснована на явищі взаємної індукції. Його використо-

вують для перетворення електричної енергії змінного струму з параметрами  $U_1$ ,  $I_1$  в енергію змінного струму з параметрами  $U_2$ ,  $I_2$  тієї ж частоти.

Принцип індуктивного зв'язку двох обмоток вперше було відкрито Фарадеєм у 1831 р., а в 1880 р. був розроблений перший трансформатор.

Трансформатор складається з феромагнітного магнітопроводу, зібраного з окремих листів трансформаторної сталі товщиною 0,35 - 0,5 мм, ізольованих один від одного прошарком ізоляційного лаку, окалини або спеціального клею.

На магнітопроводі розміщують обмотки з мідного або алюмінієвого дроту. Обмотку, яку підключають до джерела живлення називають первинною, а обмотку, до якої підключають навантаження, – вторинною.

При підключенні первинної обмотки з кількістю витків  $W_1$ , під напругу  $U_1$  змінного струму, у первинній обмотці виникає струм  $I_1$ , що викликає виникнення м.р.с.  $I_1 W_1$ , і відповідний їй магнітний потік  $\Phi_1$ . У магнітопроводі цей потік викликає в обмотці  $W_1$  електрорухоми силу е.р.с.  $E_1$ , а в обмотці  $W_2$  – е.р.с.  $E_2$ .

Якщо вторинна обмотка має навантаження, то коло вторинної обмотки виявиться замкнутим і е.р.с.  $E_2$  викличе в ньому струм  $I_2$ .

Миттєві значення е.р.с. первинної і вторинної обмоток можна визначити за формулами

$$\begin{aligned} e_1 &= -W_1 \frac{d\Phi}{dt}, \\ e_2 &= -W_2 \frac{d\Phi}{dt}. \end{aligned} \tag{1}$$

Поділивши значення е.р.с. первинного кола на відповідне значення е.р.с. вторинного кола, одержимо

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} = K. \tag{2}$$

Величина  $K$  одержала назву коефіцієнта трансформації.

Слід мати на увазі, що окрім основного магнітного потоку  $\Phi$ , що проходить по феромагнітному осерддю трансформатора, пронизуючи всі витки первинної і вторинної обмоток, є ще один потік, що охоплює лише витки первинної обмотки і проходить головним чином поза осердям у повітряному просторі. Цей потік утворює в первинній обмотці електрорушійну силу розсіювання  $E_{1p}$ .

Враховуючи, що первинна обмотка має певний активний опір  $R_1$ , рівняння електричного стану первинного кола набуває такого вигляду:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 - \dot{E}_{1p} + \dot{I}_1 R_1. \quad (3)$$

Із цього рівняння видно, що е.р.с.  $E_1$  менше за напругу  $U_1$  за рахунок е.р.с.  $E_{1p}$  та активного опору обмотки. Але враховуючи, що ця різниця дуже мала, то можна припустити, що

$$\dot{U}_1 \approx -\dot{E}_1. \quad (4)$$

Якщо трансформатор працює з навантаженням, то в його вторинній обмотці протікатиме струм  $I_2$ . Цей струм також утворює свій магнітний потік, що не тільки впливає на основний магнітний потік  $\Phi_1$ , але і утворює свій потік розсіювання  $\Phi_{2p}$ , який наводить у вторинній обмотці е.р.с.  $E_{2p}$ .

Рівняння електричного стану вторинного кола має такий вигляд

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 + \dot{E}_{2p} - \dot{I}_2 R_2, \quad (5)$$

Враховуючи, що різниця між  $U_2$  і  $E_2$ , яка обумовлена е.р.с.  $E_{2p}$ , і активним опором обмотки, відносно мала, можна вважати, що

$$\dot{U}_2 \approx \dot{E}_2. \quad (6)$$

Підставивши у рівняння (2) замість  $E_1$  і  $E_2$  відповідні напруги  $U_1$  і  $U_2$  одержимо

$$\frac{W_1}{W_2} \approx \frac{U_1}{U_2} = K. \quad (7)$$

Таким чином, можна вважати, що коефіцієнт трансформації являє собою співвідношення первинної і вторинної напруг.

Співвідношення між первинним і вторинним струмом в обмотках можна визначити з рівності первинної і вторинної потужностей. Дійсно, зневажаючи втратами активної потужності в обмотках та реактивною потужністю, обумовленою головним магнітним потоком і потоками розсіювання трансформатора, можна вважати що

$$U_1 I_1 = U_2 I_2.$$

Звідси

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_1}{I_2} = K. \quad (8)$$

### ***Режим холостого ходу***

Режим холостого ходу має місце тоді, коли коло вторинної обмотки трансформатора розімкнуте. У цьому випадку електрорушійну силу розсіювання  $\dot{E}_{1\delta}$  можна враховувати як падіння напруги на індуктивному опорі:

$$\dot{E}_{1p} = -\dot{I} \cdot X_1 = -I \cdot \omega \cdot L_1, \quad (9)$$

де  $L_1$  і  $X_1 = \omega \cdot L_1$  - індуктивність та індуктивний опір, що обумовлені полем розсіювання.

Оскільки лінії магнітного поля розсіювання проходять переважно по повітрю, то можна вважати, що  $L_1 = \text{const}$  і  $X_1 = \text{const}$ .

Схема заміщення первинної обмотки набуває вигляду, наведеному на рис.1.

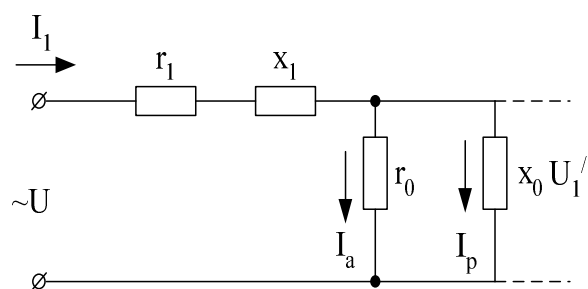


Рис. 1 – Схема заміщення первинної обмотки

Після заміни в рівнянні (3)  $E_{1\delta}$  на  $I\omega L_1 = iX_1$  одержимо

$$\dot{U}_1 = \dot{U}'_1 + iR_1 + iX_1 \quad (10)$$

На рис.2 подана векторна діаграма, що відповідає розглянутій схемі заміщення. Вона побудована виходячи з того, що струм, який еквівалентний синусоїдальному струму  $I_1$  буде відставати за фазою відносно напруги  $\dot{U}'_1$  на кут  $\phi'$ , близький до  $90^\circ$ .

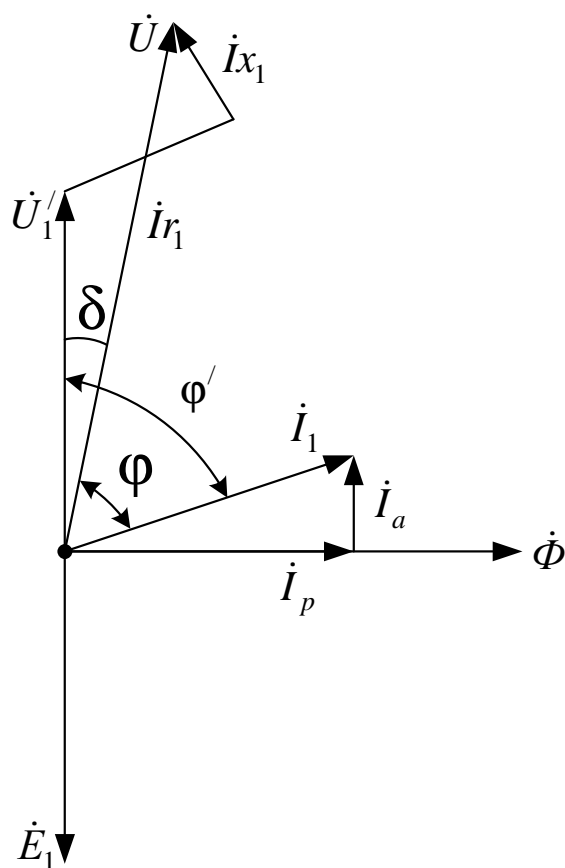


Рис. 2 – Векторна діаграма трансформатора на холостому ході

Цей струм має дві складові: активну  $I_{la}$ , обумовлену витратами потужності у сталі магнітопроводу, та реактивну (індуктивну)  $I_{lp}$ , необхідну для збудження основного магнітного потоку  $\Phi$ . Струм  $I_{lp}$  набагато перевищує струм  $I_{la}$  тому кут втрат  $\delta$  складає усього декілька градусів.

Із рівняння (10) видно, що внаслідок падіння напруги на опорах  $I_l R_l$  та  $I_l X_l$  напруга  $U'_l = E_l$  буде меншою за напругу  $U$ , підведену до трансформатора.

Напруга на виводах вторинної обмотки при холостому ході трансформатора буде рівною е.р.с.  $E_2$ ,  $U_2 = E_2$ .

### ***Режим роботи під навантаженням***

При роботі трансформатора з навантаженням в його вторинній обмотці діє струм  $I_2$ , цей струм бере участь у формуванні основного магнітного потоку  $\Phi$ , а також утворює потік розсіювання  $\Phi_{2p}$ , що наводить у вторинній обмотці е.р.с.  $E_{2p}$ .

Напруга  $U_2$ , як це впливає із рівняння електричного стану вторинного кола

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 + \dot{E}_{2p} - \dot{I}_2 R_2,$$

менше ніж е.р.с.  $E_2$  на величину  $E_{2p}$ , що обумовлена потоком розсіювання та падінням напруги на активному опорі обмотки  $R_2$ . Враховуючи, що ця різниця незначна, можна вважати, що  $\dot{U}_2 \approx \dot{E}_2$ .

Векторна діаграма, що відбиває роботу трансформатора під навантаженням має більш складний ніж при холостому ході вигляд (рис. 3).

Побудову такої повної векторної діаграми трансформатора доцільно вести в наступній послідовності. Відклавши вільно вектор вторинного струму  $\dot{I}_2$ , під заданим кутом  $\varphi_2$  до його будують вектор  $\dot{U}_2$ . Прибудувавши до нього вектори падіння напруги на активному  $I_2 R_2$  і реактивному  $I_2 X_2$  опорах, одержують вектор  $\dot{E}_2$ .

Під кутом  $90^\circ$  до вектора  $\dot{E}_2$  у бік випередження відкладають вектор магнітного потоку  $\dot{\Phi}$ , відносно якого певне положення займає вектор струму холостого ходу  $\dot{I}_0$ . Прибудувавши до його кінця вектор приведенного вторинного струму  $\dot{I}'_2$ , який направлений паралельно вектору  $\dot{I}_2$ , (але у протилежну сторону), і з'єднавши його кінець з початком координат, одержують вектор первинного струму  $\dot{I}_1$ .

Відклавши потім вектор  $\dot{U}'_1 = E_2 \frac{W_1}{W_2}$  у бік, протилежний вектору  $\dot{E}_2$ , і добавивши до нього вектори первинного падіння напруги  $\dot{I}_1 R_1$  та  $\dot{I}_1 X_1$ , одержують вектор первинної напруги  $\dot{U}_1$ .

Повній векторній діаграмі можна надати більше простий вигляд. Для цього, по-перше, змінимо на обернене прийнятий до цього позитивний напрямок е.р.с. та струму у вторинному колі, а, по-друге, замість векторів  $\dot{E}_2$ ,  $\dot{U}_2$ ,  $\dot{I}_2 R_2$  та  $\dot{I}_2 X_2$  введемо пропорційні їм вектори:

$$\dot{E}_2 \frac{W_1}{W_2} = \dot{U}'_1; \quad \dot{U}_2 \frac{W_1}{W_2} = \dot{U}'_2; \quad \dot{I}_2 R_2 \frac{W_1}{W_2}; \quad \dot{I}_2 X_2 \frac{W_1}{W_2}.$$

Перше дає змогу повернути вказані вектори на  $180^\circ$ . Друге дозволяє замінити вторинну обмотку еквівалентною з кількістю витків, що дорівнює кількості витків первинної обмотки. Ми нібито заміняємо реальний трансформатор якимось еквівалентним з коефіцієнтом трансформації, рівним одиниці. При цьому вектор, що замінює  $\dot{E}_2$ , співпадає з вектором  $\dot{U}'_2$ , а вектор  $\dot{U}_2$  замінюється на приведену вторинну напругу:

$$\dot{U}'_2 = \dot{U}_2 \frac{W_1}{W_2}.$$

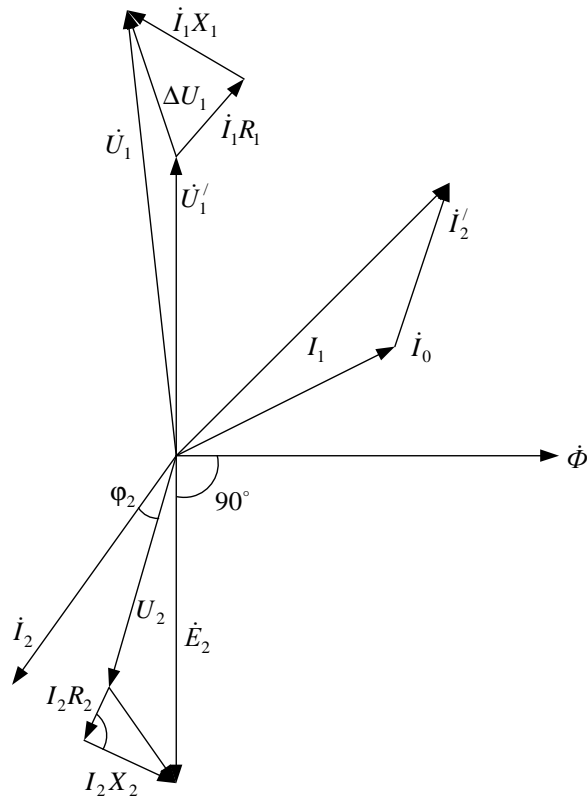


Рис. 3 – Повна векторна діаграма трансформатора

Природно, що при подібних перерахунках слід всі опори вторинного кола (активні й реактивні) замінити таким чином, щоб енергетичні умови вторинного кола еквівалентного трансформатора з однаковим числом витків обох обмоток відповідали електричним умовам реального трансформатора. Для цього нові приведені опори вторинного кола слід виразити через приведений вторинний струм  $I_2'$ . Після підстановки  $I_2 = I_2' \frac{W_1}{W_2}$ .

Одержимо

$$I_2 R_2 \frac{W_1}{W_2} = I_2' R_2 \left( \frac{W_1}{W_2} \right)^2 = I_2' R_2',$$

$$I_2 X_2 = I_2' X_2' \left( \frac{W_1}{W_2} \right) = I_2' R_2',$$

де  $R_2' = R_2 \left( \frac{W_1}{W_2} \right)^2$  і  $X_2' = X_2 \cdot \left( \frac{W_1}{W_2} \right)^2$  - приведені вторинні опори.



При струмі  $I_2'$  в цих опорах втрачається такі ж активні й реактивні потужності, як і в опорах  $R_2$  та  $X_2$  при струмі  $I_2$ .

Тепер схема заміщення трансформатора має вигляд

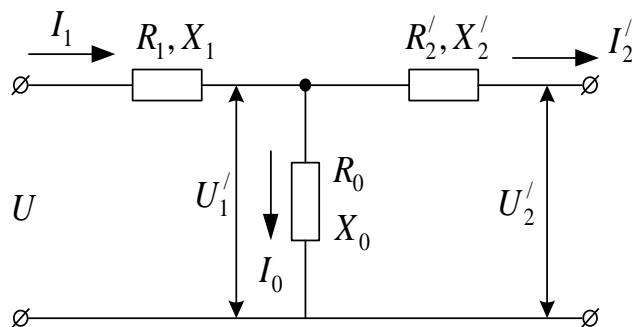


Рис. 4 – Схема заміщення трансформатору

Напруга на вході трансформатора являє собою суму падіння напруг на первинній обмотці (опори  $R_1$   $X_1$ ) і падіння напруги в колі намагнічування ( $R_0$ ,  $X_0$ ).

У свою чергу напругу  $\dot{U}_1'$  можна розглянути як суму напруг на вихідних затискачах трансформатора  $\dot{U}_2'$  і падіння напруги на ділянці  $R_2'$ ,  $X_2'$ , по яких проходить приведений струм вторинної обмотки трансформатора.

Струм  $I_0$  складається з двох струмів - намагнічуючого  $I_\mu$  відстаючого від напруги  $\dot{U}_1'$  на  $90^\circ$  і струму в сталі осереддя  $I_{cm}$ , що покрива втрати у сталі і співпадаючого за фазою з напругою  $\dot{U}_1'$ .

Векторна діаграма при наведених припущеннях має вигляд, показаний на рис.5.

На холостому ході трансформатора завдяки відносно невеликому струму у первинній обмотці складові трикутника падіння напруги ABC (рис.5) настільки малі, що вектори  $\dot{U}_1$  і  $\dot{U}_2'$  практично зливаються один з одним і приведена вторинна напруга дорівнює первинній. Вочевидь, чим більше навантаження трансформатора (струм  $I_1$ ), тим більші сторони трикутника ABC і тим менше приведена вторинна напруга в порівнянні з первинною.



Тоді відносна величина втрат напруги буде

$$\varepsilon\% = \frac{100 \cdot I_1}{U_1} (R \cos \varphi_2 + X \cdot \sin \varphi_2) \% .$$

### Особливості вимірювальних трансформаторів напруги

Трансформатор напруги являє собою малопотужний трансформатор, первинна обмотка якого підключена на напругу яку вимірюють, а вторинна замкнута на вольтметри та кола напруги інших приладів, що приєднані паралельно до вольтметра. Оскільки опір підключених приладів відносно великий, то умови роботи вимірювального трансформатора наближені до умов режиму холостого ходу звичайного трансформатора. Завдяки тому що внутрішнє падіння напруги  $I_1 Z_1$  та  $I_2 Z_2$  мають незначну величину, можна вважати, що

$$\dot{U}_1 \approx -\dot{E}_1,$$

$$\dot{U}_2 \approx \dot{E}_2.$$

Враховуючи, що  $\dot{E}_1 = \frac{W_1}{W_2} \cdot \dot{E}_2$ , напруги на первинній і вторинній обмотках

зв'язані співвідношенням

$$\dot{U}_1 \approx -\frac{W_1}{W_2} \cdot \dot{U}_2 = -K \dot{U}_2.$$

Таким чином, вторинна напруга зв'язана з первинною постійним коефіцієнтом трансформації, але за фазою вторинна напруга протилежна первинній (зсув на  $180^\circ$ )

При правильному виборі вторинних затискачів у колі вимірювальних приладів, що підключені до вторинної обмотки, вторинна напруга співпадає по фазі з первинною. Правильна передача фази потрібна для забезпечення роботи ватметрів і лічильників енергії. Вторинна номінальна напруга у всіх трансформаторах напруги має одну і ту ж стандартну величину 100 В.

Знехтування при наведених викладках внутрішнім поданням напруги викликає появу певної похибки в передачі значення величини напруги. Ця похибка має подвійне подання — похибка за напругою і похибка кутова.

**а) Похибка напруги за величиною вторинної напруги.**

Напруга на вторинних затискачах трансформатору напруги зменшена у  $K = \frac{W_1}{W_2}$  разів і відрізняється від первинної напруги в наслідок втрати напруги в трансформаторі. Різниця цих напруг, як це вже вказувалося, віднесена до первинної напруги і являє собою похибку напруги

$$\varepsilon = \frac{U_2 K - U_1}{U_1} \cdot 100\%$$

Векторна діаграма трансформатора не відрізняється від діаграми силового трансформатора, однак щоб дослідити залежність похибки від навантаження треба особливо виділити трикутник падіння напруги від струму холостого ходу і струму навантаження АВС. Похибка може бути визначена по вертикальній осі від точки 0 до точки Д — проекції кінця вектори  $\dot{U}_1$  на цю вісь. Оскільки напруга  $\dot{U}_2'$  менше напруги  $\dot{U}_1$  похибка має негативний знак. При зменшенні навантаження сторони трикутника також пропорційно зменшуються. При цьому кінець вектора  $\dot{U}_1$  переміщується по відрітку АВ діаграми. Відповідно зменшується і похибка вимірювання напруги.

Тому бажаним режимом роботи трансформатора напруги є режим близький до режиму холостого ходу.

За діаграмою можна також дослідити залежність похибки від коефіцієнта навантаження вторинної обмотки —  $\cos \varphi_2$

Із схеми заміщення впливає, що

$$\Delta \dot{U} = \dot{U}_1 - \dot{U}'_2 = \dot{I}_0 Z_0 + \dot{I}'_2 \cdot (Z_1 + Z'_2).$$

Таким чином, для зменшення похибки вимірювання слід зменшити: опори обмоток  $Z_1$  та  $Z_2$ , струм намагнічування  $I_0$  а також струм навантаження. Тобто вторинний струм  $I_2$  і сумарне споживання потужності обмотками вимірювальних приладів і реле, які підключені до вторинної обмотки, не повинні перевищувати номінальну потужність трансформатора, яка має відповідати чотирьом класам точності 0,2; 0,5; 1,0; 3,0. Ці цифри визначають похибку трансформатора у відсотках відповідно до величини вторинної напруги в номінальному режимі.

### **б) Похибка по куту**

Як видно з векторної діаграми, за рахунок падіння напруги на опорах обмоток виникає похибка від передачі фази напруги. Цю похибку називають кутовою.

Падіння напруги на обмотках  $\Delta U$  приводить до того, що вектори напруг первинної обмотки  $\dot{U}_1$  і приведенної напруги вторинної обмотки зі зворотним знаком не збігаються. Вектор  $\dot{U}'_2$  відстає від вектора  $\dot{U}_1$ . Кут між цими векторами  $\delta$  і визначає кутову похибку, яку вимірюють у кутових хвилинах.

При визначенні кутової похибки кут  $\delta$  можна прирівняти його синусу (оскільки цей кут занадто малий):

$$\sin \delta \approx \delta \approx \frac{AD}{OA}.$$

Для трансформаторів напруги класу точності 0,5 та 1,0 допускається кутова похибка, відповідно  $\pm 20'$  і  $\pm 40'$ . Для трансформаторів напруги класу точності 3,0 кутову похибку не нормують.

Аналіз похибок за напругою і кутом показує, що один і той же трансформатор напруги залежно від його навантаження може працювати у різних класах

точності і переходити з одного класу в інший при зміні навантаження відносно його номінальної потужності. Тому в каталогах і паспортах на трансформатори напруги вказують дві величини потужності:

- номінальну, з якою трансформатор може працювати в гарантованому класі точності;
- граничну, з якою трансформатор може працювати з допустимим нагріванням обмоток. Ця потужність може в декілька разів перевищувати номінальну.

Слід також мати на увазі, що крім розглянутих основних похибок трансформаторів напруги, які виникають при трансформації первинної напруги, виникають також додаткові похибки від падіння напруги в колах від трансформатора до місця встановлення панелей пристроїв захисту або вимірювання.

Особливо жорсткі умови висувають до втрат напруги при підключенні розрахункових лічильників. У цьому разі втрати не повинні перевищувати 0,5%. Для справних приладів ці втрати не повинні перевищувати 1,5%, а для реле захисту — 3%.

### ***Технічні показники трансформаторів напруги***

1. Номінальна напруга первинної обмотки —  $U_{1ном}$ .

Під номінальною напругою первинної обмотки розуміють напругу, при якій трансформатор може працювати необмежено довгий час і його діелектричні втрати  $tg\delta$  та інші показники не виходять за встановлені межі.

2. Номінальна напруга вторинної обмотки —  $U_{2ном}$ .

Під номінальною напругою вторинної обмотки розуміють напругу, для якої призначені прилади, що підлягають приєднанню до вторинної обмотки

$$U_{2ном} = 100 \text{ В.}$$

3. Номінальний коефіцієнт трансформації.

Номінальним коефіцієнтом трансформації називають відношення номінальних напруг первинної і вторинної обмоток

$$K_{ном} = \frac{U_{1ном}}{U_{2ном}}.$$

#### 4. Похибка трансформатора.

Похибкою трансформатора називають різницю між вторинною напругою, збільшеною у  $K$  разів, і первинною напругою, що віднесена до первинної напруги

$$\varepsilon\% = \frac{U_2 K_{ном} - U_1}{U_1} \cdot 100\%.$$

#### 5. Навантаження трансформаторів напруги

Під навантаженням трансформатора напруги розуміють потужність вторинних обмоток (ВА), знайдену в припущенні, що напруга на затискачах вторинної обмотки дорівнює її номінальній величині:

$$S = \frac{U_{2ном}^2}{Z} \text{ ВА},$$

де  $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ , Ом – сумарне навантаження трансформатора. Зі збільшенням числа приладів величина  $Z$  зменшується.

#### 6. Номінальне навантаження трансформаторів напруги.

Під номінальним навантаженням трансформаторів напруги розуміють найбільше навантаження, при якому його похибка не виходить за межі, встановлені для трансформаторів класу:

$$0,2; 0,5; 1,0; 3,0.$$

Класи відповідають граничним похибкам при вимірюванні напруги. Межі похибок за напругою і кутом віднесені до таких умов:

1) частота 50 Гц;

2)  $U_1 = (0,9 - 1,1) \cdot U_{1ном}$ ;

$$3) Z_{\text{навант}} = (0,25 - 1,0) \cdot Z_{\text{ном}};$$

$$4) \cos\varphi = 0,8$$

### 3. Програма роботи

1. Засвоїти принцип дії вимірювальних трансформаторів напруги.
2. Ознайомитись з конструктивними особливостями трансформаторів напруги, що знайшли поширення в системах електропостачання.
3. За допомогою векторної діаграми прослідити залежність похибки вимірювання від навантаження трансформатора.
4. Ознайомитись з головними параметрами трансформаторів напруги, що покладені в основу їх вибору при проектуванні систем електропостачання.
5. Розглянути і визначити параметри трансформаторів напруги, що визначають їх технічний стан в умовах експлуатації.
6. Ознайомитись з методами і схемами визначення параметрів трансформаторів напруги, які контролюють під час експлуатації.
7. Розглянути можливі схеми підключення трансформаторів напруги до головних кіл трансформаторних підстанцій.
8. Оформити звіт по роботі за встановленою формою.

### 4. Зміст звіту

Зміст звіту по роботі має відповідати наведеній у Додатку формі і містити в собі мету роботи та її зміст з поясненням до кожного з пунктів програми роботи. У звіті треба відобразити: схеми і ескізи, що пояснюють принцип дії трансформаторів напруги та їх конструктивні особливості; векторні діаграми, що пояснюють походження і величину похибки при вимірюванні напруги, привести і надати коротку характеристику головних параметрів трансформаторів напруги, що покладені в основу їх вибору при проектуванні підстанцій; навести коротку характеристику методів контролю технічного стану трансформаторів напруги в умовах експлуатації; навести приклади підключення трансформато-



рів напруги до головних кіл підстанцій. У звіті можуть бути також наведені відповіді на контрольні запитання.

## **5. Контрольні запитання**

1. Які трансформатори називають трансформаторами напруги (ТН)?
2. Наведіть принципову схему ТН.
3. На якому явищі заснована дія ТН?
4. Від яких параметрів і яким чином залежить миттєве значення електрорушійної сили?
5. Які магнітні потоки утворюються при роботі ТН?
6. Наведіть і поясніть рівняння електричного стану первинного кола ТН.
7. Наведіть і поясніть рівняння електричного стану вторинного кола ТН.
8. Наведіть і поясніть векторну діаграму ТН на холостому ході?
9. Наведіть схему заміщення ТН.
10. Наведіть векторну діаграму ТН під навантаженням.
11. Наведіть векторну діаграму ТН приведену до первинної обмотки.
12. Чим визначаються втрати напруги в ТН?
13. Наведіть формулу, що визначає втрати напруги в ТН.
14. Які величини визначають похибку ТН?
15. Покажіть за допомогою векторної діаграми, від чого залежить похибка ТН.
16. Які класи точності мають ТН і як вони забезпечуються?
17. Покажіть за допомогою векторної діаграми, за рахунок чого утворюються кутові похибки ТН?
18. Які потужності вказують у каталогах ТН?
19. Що розуміють під навантаженням ТН?
20. Перерахуйте основні технічні показники ТН.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила устройства электроустановок. М.: Энергоиздат, 1986.
2. Неклепаев В.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: Учебник для вузов. – Л.: Энергоиздат, 1986.
3. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию Т1, 2 / под общ. редакцией. Федорова А.А. - М: Энергоиздат, 1986.
4. Буряк В.М. Експлуатація електрообладнання систем електропостачання. Навч. посібник. – Харків: ХДАМГ, 2008.
5. Буряк В.М., Н.А.Дейнеко Електрообладнання тягових підстанцій. Навч.-метод. посібник - Харків: ХНАМГ, 2005.
6. Дейнеко Н.А. Электричні установки, апарати, вторинні кола й електричні проводки напругою до 1000 В. Метод. посібник - Харків: ХНАМГ, 2004.

## ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ.....	3
Лабораторна робота №1	
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІНДУКЦІЙНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ РЕЛЕ СТРУМУ .....	6
Лабораторна робота №2	
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ РЕЛЕ.....	28
Лабораторна робота №3	
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЛЕ ЧАСУ І ПРОМІЖНИХ РЕЛЕ.....	47
Лабораторна робота №4	
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМАТИЧНИХ ВИМИКАЧІВ.....	63
Лабораторна робота №5	
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ .....	95
Лабораторна робота №6	
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСФОРМАТОРІВ НАПРУГИ.....	119
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	136

## Навчальне видання

ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ: Навчально - методичний посібник до лабораторного практикуму з дисципліни “Електричні апарати” (для студентів 3 - 4 курсів денної та заочної форм навчання спеціальності 6.090603 "Електротехнічні системи електроспоживання")

Автори: Валентин Миколайович Буряк,  
Наталія Анатоліївна Дейнеко

Рецензент: О.Г. Гриб

План 2007, поз. 89Н

---

Підп. до друку 29.11. 2007 р.	Формат 60x84. 1/16	Папір офісний
Друк на ризографі	Умовн.-друк. арк. 5,5	Обл.-вид. арк. 6,0
Тираж 150 прим.	Замовл. №	

---

ХНАМГ, 61002, Харків, вул. Революції, 12

---

Сектор оперативної поліграфії ІОЦ ХНАМГ  
61002, Харків, вул. Революції, 12